1974

HERMANN SCHROEDEL VERLAG KG

Hannover · Dortmund · Darmstadt · Berlin

Gesamtherstellung: Druckerei Hans Oeding, Braunschweig

Printed in Germany

H 6661 F

Grundlagenstudien aus Kybernetik und Geisteswissenschaft

Erste deutschsprachige Zeitschrift für Kybernetische Pädagogik und Bildungstechnologie

Informations- und Zeichentheorie
Sprachkybernetik und Texttheorie
Informationspsychologie
Informationsästhetik
Modelltheorie
Organisationskybernetik
Kybernetikgeschichte
und Philosophie der Kybernetik

Begründet 1960 durch Max Bense
Gerhard Eichhorn
und Helmar Frank

Band 15 · Heft 1
März 1974
Kurztitel: GrKG 15/1

INHALT

UMSCHAU UND AUSBLICK

Helmar Frank
Vergleichende Wertungen verschiedener Bildungsmedien und Didaktiken 1

KYBERNETISCHE FORSCHUNGSBERICHTE

Vlastimil Polák
Zu der Untersuchung des Schwierigkeitsgrades von Explanationen 13

Volker Schurig
Analogiekriterien zur Unterscheidung adaptiver Maschinen und lernender biologischer Systeme 21

Dirk Simons
Lehrweggenerierung mit Methoden der Dynamischen Optimierung 27

MITTEILUNGEN 31

HERMANN SCHROEDEL VERLAG KG

Im Verlaufe der sechziger Jahre gewann im deutschen Sprachraum, insbesondere im Umkreis der „Grundlagenstudien aus Kybernetik und Geisteswissenschaft", die Erkenntnis an Boden, daß die eigentliche Triebfeder der Kybernetik das Bedürfnis ist, die Vollbringung auch *geistiger* Arbeit an technische Objekte zu delegieren, kurz: sie zu *objektivieren*, und daß dies nicht ohne eine über die geisteswissenschaftlich-phänomenologische Reflexion hinausgehende wissenschaftliche Anstrengung in vorhersehbarer und reproduzierbarer Weise möglich ist, nämlich nicht ohne eine *Kalkülisierung* geistiger Arbeit. Die Bedeutung der Logistik, der Informationstheorie und der Theorie abstrakter Automaten als mathematische Werkzeuge wird von diesem Gesichtspunkt aus ebenso einsichtig wie der breite Raum, den die Bemühungen um eine Kalkülisierung im Bereich der *Psychologie* und im Bereich der Sprache bzw., allgemeiner, der *Zeichen*, einnahmen.

Die geistige Arbeit, deren Objektivierbarkeit allmählich zum Leitmotiv dieser Zeitschrift wurde, ist nicht jene geistige Arbeit, die sich selbst schon in bewußten Kalkülen vollzieht und deren Objektivierung zu den Anliegen jenes Zweiges der Kybernetik gehört, die heute als Rechnerkunde oder Informatik bezeichnet wird. Vielmehr geht es in dieser Zeitschrift vorrangig darum, die verborgenen Algorithmen hinter jenen geistigen Arbeitsvollzügen aufzudecken oder wenigstens durch eine Folge einfacherer Algorithmen anzunähern und damit immer besser objektivierbar zu machen, welche zur Thematik der bisherigen Geisteswissenschaften gehören. Der größte Bedarf an Objektivation in diesem Bereiche ist inzwischen bei der geistigen Arbeit des *Lehrens* aufgetreten. Mit der Lehrobjektivation stellt diese Zeitschrift ein Problem in den Mittelpunkt, dessen immer bessere Lösung nicht ohne Fortschritte auch bei der Objektivierung im Bereich der Sprachverarbeitung, des Wahrnehmens, Lernens und Problemlösens, der Erzeugung ästhetischer Information und des Organisierens möglich ist. Die Bildungstechnologie als gemeinsamer, sinngebender Bezugspunkt soll künftig auch bei kybernetikgeschichtlichen und philosophischen Beiträgen zu dieser Zeitschrift deutlicher sichtbar werden. (GrKG 13/1, S. 1 f.)

Manuskriptsendungen gemäß unseren Richtlinien auf der dritten Umschlagseite an die Schriftleitung:

Prof. Dr. Helmar Frank
Assessorin Brigitte Frank-Böhringer
(Geschäftsführende Schriftleiterin)
Institut für Kybernetik
D-479 Paderborn, Riemekestraße 62
Tel.: (0 52 51) 3 20 23 u. 3 20 90

Anzeigenverwaltung und Vertrieb: Hermann Schroedel Verlag KG,
D-3 Hannover, Zeißstraße 10

Erscheinungsweise: Viermal im Jahr mit je ca. 32 Seiten.
Preis: Einzelheft DM 7,40 — Jahresabonnement DM 29,60 (zuzüglich Postgebühren).

Vergleichende Wertungen verschiedener Bildungsmedien und Didaktiken

von Helmar FRANK, Paderborn

aus dem FEoLL-Institut für Kybernetische Pädagogik, Paderborn und dem Institut für Kybernetik, Berlin und Paderborn (Direktor: Prof. Dr. Helmar Frank)

1. *Problemstellung*

Die Bildungstechnologie, insbesondere die Programmierte Instruktion (PI) gilt als „das am intensivsten erforschte Gebiet der experimentellen Pädagogik" (Walter, 1973, S. 13).

Zahlreiche Vergleichsuntersuchungen stellen einzelne Formen der systematischen Unterrichts*durchführung* (nach sog. *Bildungsalgorithmen B*) und ihrer (Teil-)Objektivierung (durch nichtpersonale *Medien M* oder zumindest durch Requisiten) einander gegenüber, ohne daß bisher eine verwertbare *Übersicht über den Gesamtzusammenhang* dieser Einzelergebnisse versucht worden wäre. Wo eine Übersicht angeboten wird, geschieht dies entweder nur mit der Absicht, bisherige Mängel der Vergleichsmethoden aufzudecken und zu verringern (so insbesondere bei Walter, 1973), oder aber es wird vorschnell der Eindruck erweckt, übergreifende Schlußfolgerungen als Grundlage bildungspraktischer Entscheidungen könnten aus den empirischen Einzelergebnissen kaum gezogen werden (so bei Köbberling, 1971). Was fehlt, ist ein gewisser „Mut zur Brücke" zwischen den vielfältigen Einzelergebnissen.

Auch für die (der Unterrichtsdurchführung vorgelagerte) Stufe der Unterrichts*vorbereitung* gibt es verschiedene Systematisierungs- und Objektivierungsmöglichkeiten (sog. *Didaktiken* Δ), für welche eine befriedigende Einordnung in ein übergreifendes Bewertungssystem fehlt. Nur zu einem kleinen Teil sind sie bisher in empirische Vergleichsuntersuchungen einbezogen worden (insbesondere durch Arlt, 1972.A.2).

Allgemeine Aussagen über die „Güte" von Medien bzw. didaktischen Verfahren sind jedoch meist entweder (wenigstens) theoretisch anfechtbar oder praktisch bedeutungsarm.

Denn theoretisch hängt die Menge $\{BM\}$ jener Lehrsysteme BM, welche einem gegebenen Lehrumstand angemessen sind, gemäß einer sog. „Didaktikfunktion" d sowohl ab vom Lehr-Ziel LZ im allgemeinen Sinne (also vom Lehrstoff L und der für ihn festgelegten „Zielausprägung" Z, z.B. der Gründlichkeit, mit der L gelernt werden soll), als auch von der Gesamtheit P der psychologischen und psychophysischen Merkmale der Adressaten und von den mehr oder weniger wahrscheinlichen Einflüssen der soziokulturellen Umwelt S. Dieser schlagworthaft als „Interdependenzverhältnis" bezeichnete Zusammenhang $\{MB\} = d(LZPS)$ besteht theoretisch bei jeder Didaktik Δ, die nicht der Erfahrung offensichtlich widerspricht. Ein Medium, das unter einem Lehrumstand $U = LZPS$ gut geeignet ist, kann also unter einem anderen Lehrumstand U^* völlig unbrauchbar sein, d.h. durch kein B zu einem Lehrsystem BM programmiert werden können, das den Erfordernissen von U^* genügt. In der Regel ist also von zwei Medien in keiner Hinsicht das eine unter allen Umständen U „besser" als das andere. Schließt man jedoch den sonderpädagogischen Bereich (Blindenschulen etc.) aus der Betrachtung aus, dann erkennt man, daß die Komponente M des Lehrsystems weit stärker von L und evtl. Z abhängt als von den Komponenten P und S des Lehrumstands. Beschränkt man sich schließlich auf einen genügend homogenen Lehrstoffbereich $\{L\}^b$,

dann ist es theoretisch erlaubt und praktisch bedeutsam zu fragen, welche Medien *M* für die Erreichung eines gesetzten *Z in diesem Lehrstoffbereich* $\{L\}^b$ immer oder zumindest innerhalb eines weiten Spielraums von *P* und *S* bei zweckmäßig erzeugtem *B* geeignet bzw. in einem festzulegenden Sinne „am besten" geeignet sind.

Bei feststehendem Lehrumstand *U* hängt *B* und damit die „Güte" des bereitzustellenden Lehrsystems von der Didaktikfunktion *d*, also von Δ ab. Daher ist es sinnvoll, die „Güte" verschiedener Didaktiken innerhalb ihres gemeinsamen Definitionsbereichs zu vergleichen. (Wir lassen im folgenden didaktische Vorgehensweisen unberücksichtigt, bei denen *d* und *B* tatsächlich oder in der bisher vorliegenden Systembeschreibung nicht deutlich getrennt sind, also insbesondere die Eigendidaktikentwürfe von Schmid, 1973, und die überwiegend noch unveröffentlichte, taxonomisch orientierte Strategie, die Herr Professor W. Lahn, Berlin, im Januar 1974 beim 2. Kybernetisch-Pädagogischen Werkstattgespräch in Köln umriß.

Die vergleichende Wertung verschiedener *M* bzw. Δ kann in verschiedenen Dimensionen (Lernerfolg, Lerngeschwindigkeit, Genauigkeit der je möglichen Erfolgsprognose ...) zu verschiedenen Ergebnissen führen. (Was in einer Hinsicht besser ist, kann in einer anderen schlechter sein.) Der Wirtschaftlichkeitsvergleich ist sicher nicht die pädagogisch interessanteste Gegenüberstellung zweier Medien oder Didaktiken, jedoch darf er in der Bildungsplanung nicht unberücksichtigt bleiben.

2. *Zu vergleichende Medientypen*

Im personalen (oder Direkt-)Unterricht kann *M* über den lehrenden Menschen hinaus *Requisiten* umfassen, die entweder der „besseren" (zeitsparenden, genaueren ...) Vermittlung der Information an den Adressaten dienen (Bildwerfer, Sichtschreiber, Filmgeräte, Plattenspieler etc.), oder der „besseren" Rückführung der Adressatenreaktionen und -aktionen (Rückführgeräte wie z.B. Profaid, Echotest, Famulus), oder beides verknüpfen (z.B. das an der TU Berlin entstandene und eingesetzte Parallelschulungssystem von Simons).

Beim objektivierten Unterricht schließen wir wegen des quantitativ geringeren Anwendungsbereichs im folgenden die Medien des überwiegend *anbietenden* Lehrens (Simulatoren; Nachschlagewerke und elektronische Auskunftssysteme) aus der Betrachtung aus. (Das anbietende Lehren unterscheidet sich vom strategischen durch die größere Bedeutung der Aktionen des Adressaten gegenüber seinen Reaktionen und demgemäß im Idealfall durch die Lernziel- statt Lehrzielorientiertheit. Vgl. Frank/Meder, 1971. S. 1, S. 24 sowie Frank, 1973. A.1 und 1973. B.4).

Beim überwiegend *strategischen*, objektivierten Lehren werden derzeit noch die Medien für PI durch die *starren Medien* (Tonbildschauen, Lehrfilme, Informationsträger und Abspielgeräte des Bildungsfernsehens) hinsichtlich der schon erreichten Verbreitung auf den zweiten Platz verwiesen.

Eine Ausnahme bilden bereits die *Lehrprogrammbücher*, während die Darbietungsgeräte (z.B. Promentaboy, Synchrofax, PIP u.a.) zwar keine geringe, aber auch keine beherrschende Rolle spielen.

Die *autonomen* (rechnerunabhängigen) *Lehrautomaten* (Intertip-Lernstudio; Robbimat; Autotutor; BASF 5100; Unitutor; Mitsi) haben sich teils bei der Erprobung von Entwicklungsmustern bewährt, teils wenigstens im Bereich der beruflichen Weiterbildung sich durchzusetzen begonnen. Die Überlappung oder Abgrenzung ihres didaktischen Orts (d.h. der Menge von Lehrumständen *U*, denen sie angemessen sind) gegenüber dem des strategischen, rechnerunterstützten Unterrichts (*RUU*; z.B. Nixdorf-Bakkalaureus, Educator und die verschiedensten Großrechnersysteme) ist eine bemerkenswerte Streitfrage der gegenwärtigen Bildungstechnologie. —

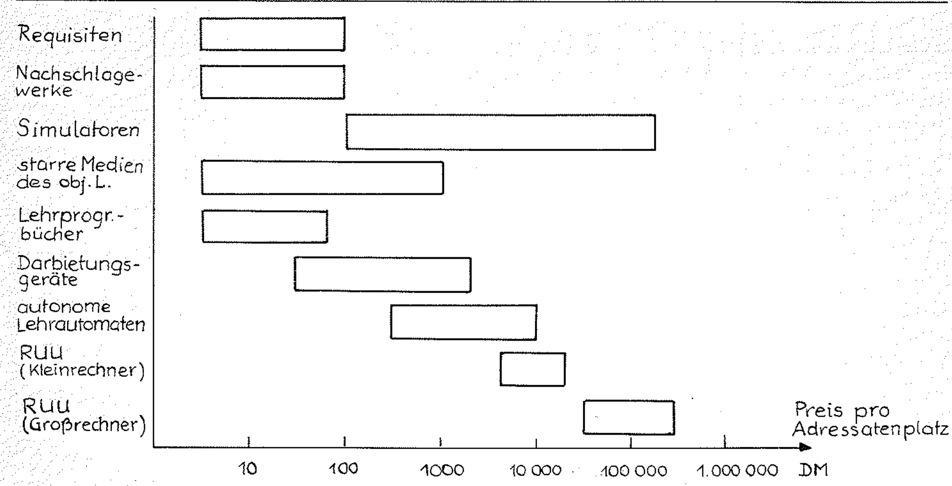


Bild 1: Kostenvergleich der verschiedenen Typen von Bildungsmedien. (Klassifikation nach Frank/Meder, 1971. S.1, Seiten 23 und 92)

Bild 1 soll eine größenordnungsmäßige Vorstellung über die Anschaffungskosten pro Adressatenplatz für die aufgeführten Medientypen vermitteln, wobei die verschiedenen Unterhaltskosten und Nutzzeiten zunächst unberücksichtigt bleiben.

3. *Vergleichende Wertung verschiedener Medien*

3.1 *Lehrwirksamkeitsvergleiche*

Eine höhere Lehrwirksamkeit eines Lehrsystems gegenüber einem zweiten (im Sinne des Erreichens eines höheren Wissenszuwachses) konnte in empirischen Untersuchungen im deutschen Sprachraum bei vier Vergleichen eindeutig gemessen werden (die Zahlenwerte wurden hier und im folgenden als gewichtete Mittelwerte aus den Angaben in den Originalarbeiten errechnet):

(A) Lehrprogrammbücher (linear) gegenüber herkömmlichem Klassenunterricht (durchschnittlich etwa 15 %; vgl. Weltner, 1964a; Walter, 1973);

(B) PI-ähnliches Bildungsfernsehen gegenüber herkömmlichem Bildungsfernsehen (32 %; vgl. Issing und Schellenberg, 1969);

(C) Audiovisuelle Parallelschulung (PI) gegenüber der klassischen Vorlesung (52 %; vgl. Frank, Hoepner, Winguth, 1970. D.2);

(D) Audiovisuelle Gruppenschulung gegenüber audiovisueller Einzelschulung (PI, linear) (etwa 12 %; Boeckmann und Heymen, 1972. D.1).

Eine Reihe von Vergleichsuntersuchungen weiterer Medienpaare führte zu nichtsignifikanten Ergebnissen. Man kann hier also nicht mit einer genügend geringen Irrtumswahrscheinlichkeit das überlegene Medium nennen; jedoch trifft die Behauptung, die beiden Medien hätten ungefähr die *gleiche* Lehrwirksamkeit mit *geringerer* Wahrscheinlichkeit zu, als die Behauptung, die Lehrwirksamkeit *unterscheide* sich ungefähr um den jeweils *gemessenen* (relativ geringen) Wert. (Die Wertangaben an sich sind hier nicht unsicherer als die oben gemachten, lediglich das darauf aufgebaute qualitative Vergleichsurteil!) In diesem Sinne erwiesen sich als überlegen

(a) audiovisuelle Parallelschulung (PI) gegenüber Lehrprogrammtexten (linear) um etwa 5 % (Holzkamp, Hasper, *Rauner*, Scholz und Trotier, 1972. D.1);

(b) Lehrprogrammtexte (linear) gegenüber PI-ähnlichem Bildungsfernsehen um etwa 1 % (Issing und Schellenberg, 1969);

(c) audiovisuelle Parallelschulung (PI) gegenüber audiovisueller Einzelschulung (PI, linear) um etwa 2 % (Boeckmann und Heymen, 1972. D.1).

Rechnerisch kann man die Ergebnisse (a), (b) und (c) als Bindeglieder zwischen den Ergebnissen (A), (B), (C) und (D) verwerten und dadurch die mit Bild 2 gegebene Vergleichsübersicht erstellen. So berechnet man nicht nur die jeweilige (höhere) prozentuale Lehrwirksamkeit gegenüber der herkömmlichen Vorlesung (also gegenüber dem Vortrag ohne die in Abschnitt 2 genannten möglichen Verbesserungen durch Requisiten), sondern auch prozentuale Vergleichswerte zwischen irgend zwei Medien bzw. Unterrichtsformen (gestrichelte Linien in Bild 2). Dabei werden aber zwei Überlegungen zugrundelegt, die zwar annehmbar, aber keineswegs zwingend sind.

(1) Bei den paarweisen Medienvergleichen ist M unabhängige (vorgegebene), die Lehrwirksamkeit w abhängige (verursachte) Veränderliche. Alle weiteren Variablen (L,Z,P,S,B, Lernzeit etc.) müssen entweder konstant sein (was bei L,Z,P und S *innerhalb* jedes der genannten Vergleichsversuche näherungsweise vorausgesetzt werden darf) oder aber selbst *abhängige* Veränderliche, so daß wir sie nicht als *zusätzliche Teilursache* der Lehrwirksamkeitsdifferenz zu berücksichtigen haben. Letzteres kann bei B nur unterstellt werden, wenn für jedes M die *lehrwirksamste*, für M programmierbare Lehrstrategie B gewählt wurde (was die Experimentatoren erstrebten!). Die unterschiedlichen *Lernzeiten* ergeben sich durch die als angemessen vorauszusetzende Zeitvorgabe der starren Medien (z.B. Dauer einer Fernsehlektion) bzw. aus dem individuellen Lerntempo der Adressaten bei PI – also jedenfalls als weitere *abhängige* Veränderliche. Soweit also die Lehrwirksamkeit außer durch M auch durch B oder die Lernzeit beeinflußt wird, ist dies als *indirekter Einfluß von M* aufzufassen.

(2) Die Verknüpfung der paarweisen Vergleiche ist ohne neue Voraussetzungen möglich, wo die innerhalb jedes Vergleichsversuchs konstant gehaltenen Größen L,Z,P,S bei beiden zu verknüpfenden Paaren übereinstimmen. Dies ist aber nur bei den Untersuchungen (B) und (b) sowie (D) und (c) der Fall. Nun besteht die unterschiedliche Lehrwirksamkeit darin, daß unterschiedlich viel Testfragen erst im Schlußtest (nicht schon im Vortest) richtig beantwortet und damit „Punkte" gewonnen werden können, bzw. daß unterschiedlich viel didaktische Transinformation (Weltner 1966a) nach dem Weltnerverfahren gemessen wurde. Der *absolute* Unterschied ist mindestens in erster Näherung *proportional* zur (innerhalb jeder Vergleichsuntersuchung konstant gehaltenen) Zahl und Schwierigkeit der Testfragen bzw. zum (je gleichen) Gehalt an semantischer Information (L!), zweitens zum durch die Punktgewichtung (Z!) bestimmten Maßstab, sowie drittens zur Lerngeschwindigkeit der Adressaten (P!); letztere kann evtl. durch störende oder stimulierende Einflüsse (S!) um einen *Faktor* verschlechtert oder verbessert werden. Bildet man zur Bestimmung der *relativen* Lehrwirksamkeitswerte die *Quotienten* der absoluten Wirksamkeitswerte, dann fallen jeweils alle Proportionalitätsfaktoren weg. Wir müssen daher nur für den paarweisen Vergleich, nicht auch für die Verknüpfung der Vergleichsergebnisse (also für die Voraussetzung der Transitivität) die Konstanz des Lehrumstands $U = LZPS$ unterstellen. (Daß wir in Abschnitt 1 einen homogenen Bereich b voraussetzten, der durch U nicht überschritten werden darf, sollte sicherstellen, daß der Vergleich aller betrachteten Medien im Intersektionsbereich ihrer didaktischen Orte erfolgt. Nur hier kann vorausgesetzt werden, daß die Quotienten der absoluten Wirksamkeitswerte irgend zweier der Medien für alle U des Bereichs wenigstens näherungsweise übereinstimmen!).

Die Lehrwirksamkeitsunterschiede können unter den oben erörterten Voraussetzungen nur noch auf die unterschiedlichen *Merkmale der einzelnen Medien* zurückgeführt werden. Dabei kann aus diesen Unterschieden und aus der Größe der Lehrwirksamkeitssteigerung sowie aus einigen der von den Experimentatoren ergänzend mitgeteilten Beobachtungen gefolgert werden (Frank, 1974.C.1, C.2),

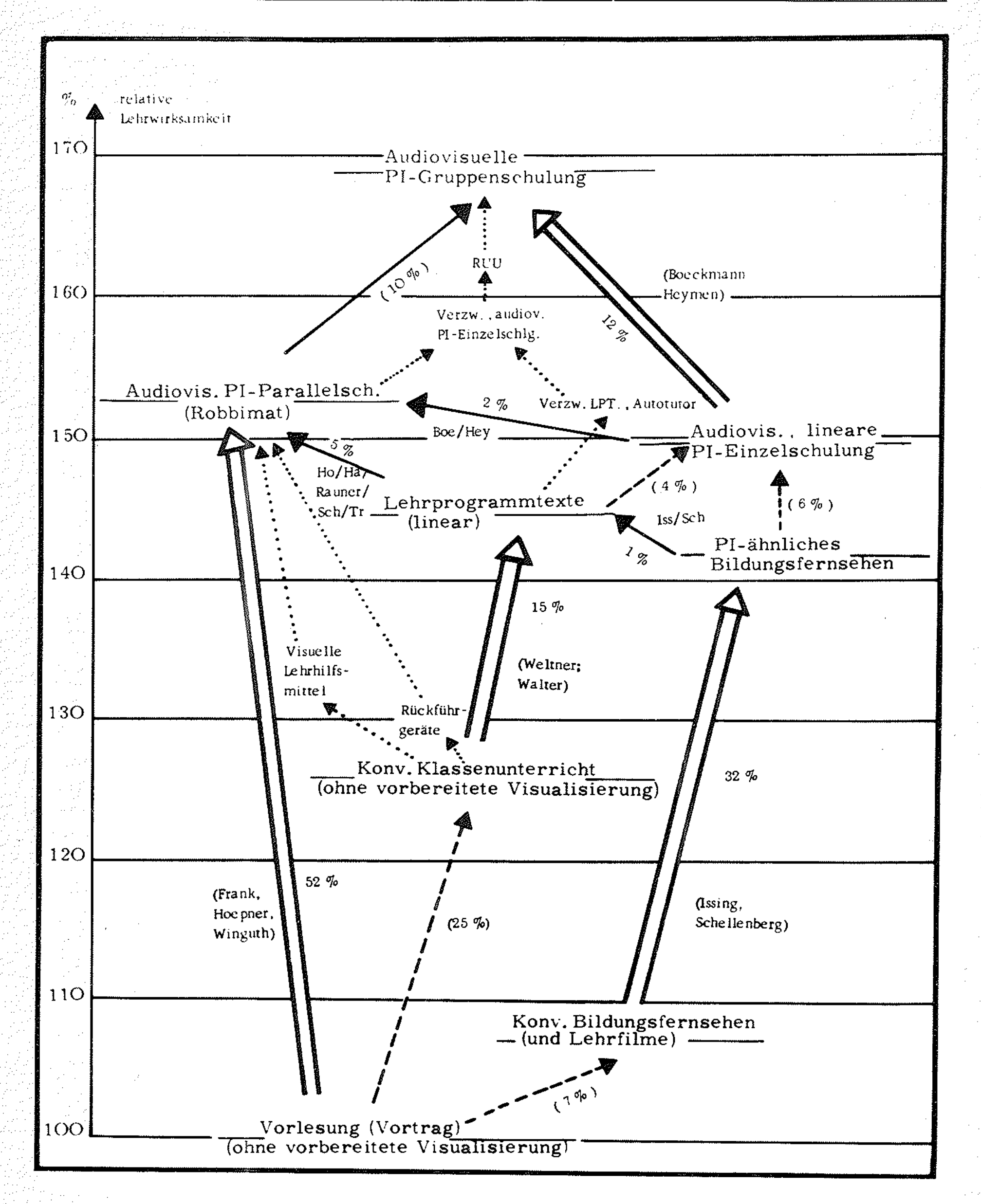


Bild 2: Relative Lehrwirksamkeit verschiedener Medien bei Lehrstoffen vom Typ der Verfahren und der Fakten, sofern letztere nicht in zuzuordnenden Zeichenketten bestehen. (Doppelpfeile: signifikante Vergleichsergebnisse; durchgezogene, einfache Pfeile: nichtsignifikante Vergleichsergebnisse; gestrichelte Pfeile: Vergleichsergebnis erschlossen; punktierte Pfeile: vermutete Vergleichsergebnisse.)

daß die exakte und reproduzierbare Einhaltung einer didaktisch gut strukturierten Lehrstrategie *B*, die beim (teil-)*objektivierten* Unterricht (besser) möglich ist, zusammen mit der nach jedem Lehrschritt geforderten *Eigentätigkeit* des Adressaten den größten Beitrag zur Lehrwirksamkeit leistet. Die *Zeitanpassung* dürfte kaum wichtiger sein als die *audio*visuelle Präsentationsform, wobei die Verringerung, welche die Zeitanpassung bei Parallelschulung gegenüber der Einzelschulung erleidet, offensichtlich — wenigstens in halbwegs homogenen Klassen — durch die stimulierende Wirkung der Klassensituation kompensiert wird. Die *individuelle Urteilsanzeige* scheint wenigstens *tendenziell* lehrwirksamkeitssteigernd zu sein, während die ständige Anwendung des schon Gelernten in der *Gruppendiskussion* die Wirksamkeit *deutlich* steigert. — Derartige Überlegungen gestatten vorläufige Interpolationen für noch nicht durch Vergleichsuntersuchungen erfaßte Medien (punktierte Linien in Bild 2).

3.2 *Zeitbedarfsvergleiche*

Neben der *Lehrwirksamkeit* haben wir den individuell verschiedenen relativen *Lernzeitbedarf* als eine zweite vom Medium abhängige Veränderliche angesprochen, die als ein zweiter Gütemaßstab gelten kann. Aus den empirischen Vergleichsuntersuchungen kann damit analog zu Bild 2 (aber mit weit größerer Ungenauigkeit!) eine neue wertende Gesamtübersicht hergeleitet werden, wobei diesmal das konventionelle Bildungsfernsehen (das wir als zu Lehrfilmen gleichwertig ansehen können) am günstigsten, der konventionelle Klassenunterricht mit seinem mehr als $2\frac{1}{2}$ fachen Zeitaufwand am ungünstigsten abschneidet. Die audiovisuelle Gruppenschulung erweist sich erwartungsgemäß als wesentlich (nämlich um mehr als 20 %) zeitaufwendiger als die audiovisuelle PI-Einzelschulung und das PI-ähnliche Bildungsfernsehen, das seinerseits das konventionelle Bildungsfernsehen um mehr als 75 % im Zeitaufwand übertrifft. Für die Vorlesung, die audiovisuelle PI-Parallelschulung und den Unterricht mit Lehrprogrammbüchern errechnet man Werte des relativen Zeitbedarfs, die zwischen denen der audiovisuellen Einzel- und Gruppenschulung liegen (Frank, 1964.C.1,C.2).

3.3 *Wirkungsgradsvergleiche*

Den Quotienten aus relativer Lehrwirksamkeit und relativem Lernzeitaufwand (je bezogen auf die Vorlesung) kann man als „relativen Wirkungsgrad" bezeichnen. Er ist für die Vorlesung definitionsgemäß gleich 1 und gibt allgemein an, um wieviel schneller bei Verwendung der einzelnen Medien unter sonst vergleichbaren Umständen die didaktische Transinformation fließt als bei der Vorlesung (bzw. dem Lehrervortrag). Für einen Versuch mit Lehrprogrammtexten, den Weltner (1964b) durchführte, kann man den „absoluten Wirkungsgrad" bestimmen, d.h. den Prozentsatz des tatsächlich in diesem Unterricht an Lehrstoff Gelernten gegenüber dem theoretisch lernbaren Optimum $C_V \cdot t$ (= Lerngeschwindigkeit mal Unterrichtszeit); dieser Wirkungsgrad berechnete sich für den erwähnten Fall zu 46 % (Frank in Frank/Meder, 1971.S.1, S. 146). Anerkennt man dieses Ergebnis bis zum Vorliegen einer breiteren empirischen Basis als typisch, denn kann es zur vorläufigen Eichung der Wirkungsgradskala dienen.

In Bild 3 sind die berechneten Wirkungsgrade der einzelnen Medien als Ordinatenwerte gegen die aus Bild 2 entnommenen Werte des prozentualen Zuwachses der Lehrwirksamkeit gegenüber der Vorlesung aufgetragen. Man erkennt unmittelbar das Sinken des praktisch erreichbaren Wirkungsgrades bei steigenden Ansprüchen an die Lehrwirksamkeit wie auch die Zuordnung des im Sinne des Wirkungsgrades zweckmäßigsten Mediums zu der erstrebten Stufe der Zielausprägung (nach Lehnert, 1972.A.5): *orientieren* kann man am raschesten mit dem konventionellen Bildungsfernsehen, *befähigen* mit der audiovisuellen PI-Einzelschulung, *qualifizieren* wohl erst mit Gruppenschulungsverfahren.

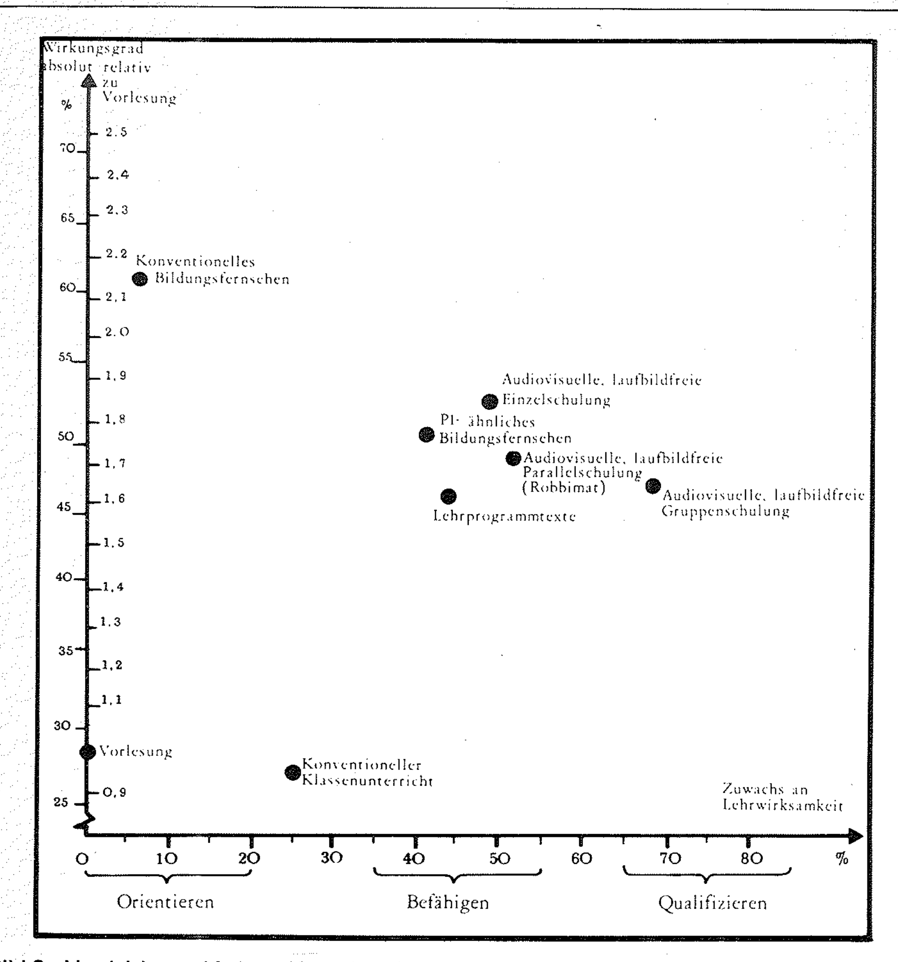


Bild 3: Vergleich verschiedener Unterrichtsformen hinsichtlich Lehrwirksamkeit und Wirkungsgrad. (Drei Intervalle des relativen Lehrwirksamkeitszuwachses sind versuchsweise den „Kompetenzgraden", d.h. Zielausprägungsstufen der Lehnertschen Taxonomie zugeordnet.)

3.4 *Streuschrumpfungsvergleiche*

Eine weitere medienabhängige Veränderliche, die einer Vergleichswertung zugrundegelegt werden kann, ist die Schrumpfung der prozentualen *Kenntnisstreuung* gegenüber dem vor Unterrichtsbeginn meßbaren Zustand. Daß diese Verminderung bei objektiviertem Unterricht weiter geht als bei Direktunterricht, erscheint sowohl als Vorteil der (höheren) Prognosezuverlässigkeit des Lehrerfolgs als auch als Vorteil der (höheren) Kenntnisangleichung (Frank, 1969.0.1, Abschn. 6.2). Die vergleichsweise noch sehr ungenauen Werte, die aus einem Teil der zitierten experimentellen Arbeiten errechnet werden können, sind in Bild 4 wiedergegeben. Wie man sieht, ist in dieser Wertungsdimension die audiovisuelle PI-Einzelschulung dem konventionellen Bildungsfernsehen eindeutig überlegen.

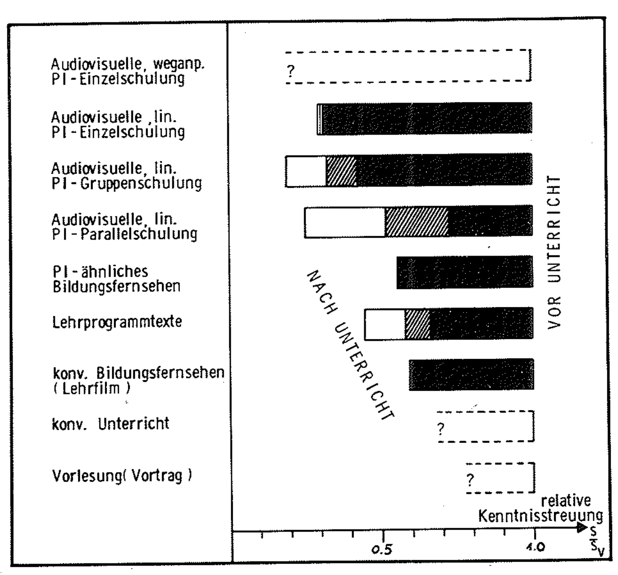


Bild 4: Vergleich verschiedener Unterrichtsformen hinsichtlich der damit erreichten Schrumpfung der relativen Kenntnisstreuung ($s = \sigma/M$) gegenüber dem Vortest ($s_V = \sigma_V/M_V$). Wo der Wert aus Vergleichsuntersuchungen verschiedener Autoren als (gewichtetes) Mittel berechnet werden konnte, ist auch die maximale und minimale Streuschrumpfung eingezeichnet.

3.5 *Subjektive Wertungsvergleiche und Vergleichsgenauigkeit*

Weitere Wertungsdimensionen sind die Beliebtheit, die Geringfügigkeit der subjektiven Anstrengung, die Lernintimität und anderes. Hierfür konnten bisher nur sehr unsichere Gesamtergebnisse aus den bekanntgewordenen Vergleichsuntersuchungen ermittelt werden (Frank, 1974.C.1, C.2).

Eine vertiefte Auswertung des vorliegenden Schrifttums, die teilweise mit Rückfragen bei den Autoren verbunden sein müßte, sollte vor allem auf die Ermittlung der Unsicherheitsbereiche für die in Bild 2 bis 4 dargestellten durchschnittlichen Vergleichswerte abzielen.

4. *Vergleichende Wertung didaktischer Strategien*

4.1 *Ergebnisvergleiche didaktischer Strategien*

Ein Wirtschaftlichkeitsvergleich zwischen (z.B.) konventionellem Klassenunterricht und einem objektivierten Unterricht (z.B.) mit Lehrprogrammtexten muß außer dem unterschiedlichen Wirkungsgrad u.a. den unterschiedlichen Zeitaufwand für die Unterrichts*vorbereitung*, also für die Anwendung *didaktischer* Verfahren berücksichtigen. Verschiedene Didaktiken Δ können sich dabei sowohl in der Lehrwirksamkeit und im Wirkungsgrad ihrer Resultate (also der einsatzbereiten Lehrsysteme *BM*) als auch im Zeitaufwand unterscheiden. W. Arlt (1972.A.2) führte erste diesbezügliche Vergleichsuntersuchungen für folgende didaktische Verfahren durch:

1) eine intuitive, (strategie-),„freie" Gestaltung von *B* durch didaktische Programmierer, welche die folgenden Verfahren (2 — 5) zuvor schon kennengelernt, also ein Gefühl für wirksame didaktische Maßnahmen erworben hatten;

2) die w-t-Didaktik (vgl. Meder in Frank/Meder, 1971.S.1, Abschn. 3.322);
3) die Formaldidaktik Alzudi;
4) die Formaldidaktik Alskindi;
5) die halbalgorithmische Formaldidaktik Cogendi, und zwar sowohl bei audiovisueller Realisierung des rechnererzeugten Lehrprogramms als auch bei Darbietung als Lehrprogrammtext.

(Einen Überblick über die Formaldidaktiken liefert Graf, 1973.B.1). Es bestand Vergleichbarkeit oder gar Identität von *P* (Architekturstudenten), *L* (Architekturgrundwissen), *M* (Lehrprogrammbuch oder audiovisuelle PI-Parallelschulung) und *S*, sowie in der Benutzung der verschiedenen Δ. Aufgrund entsprechender Überlegungen wie in Abschnitt 3 kann daher die relative Lehrwirksamkeit *w* des Resultats der einzelnen didaktischen Vorgehensweisen bezüglich der „freien" Programmierung aus den von Arlt veröffentlichten Meßwerten berechnet werden. Die Ergebnisse sind in Bild 5 als Ordinatenwerte eingetragen.

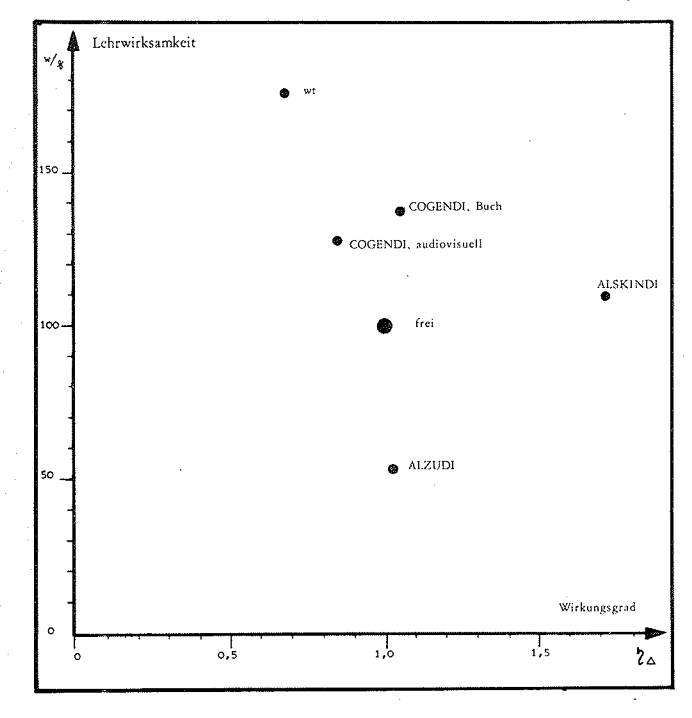


Bild 5: Relative Lehrwirksamkeit *w* und Wirkungsgrad η_Δ verschiedener Vorgehensweisen Δ der Lehrprogrammierung — je im Vergleich zur strategiefreien Programmierung.

4.2 *Wirkungsgradsvergleiche didaktischer Strategien*

Durch Division durch den entsprechend ermittelten, relativen, didaktischen Arbeitsaufwand (bezüglich dem bei freier Programmierung zu treibenden Aufwand) erhält man analog zu unserer obigen Betrachtung den relativen Wirkungsgrad η_Δ von Δ. Einzelheiten des Berechnungswegs (Frank, 1974.C.1, C.2) müssen hier unterdrückt werden. Die Ergebnisse sind als Abszissenwerte in Bild 5

zusammengefaßt, das in der Tendenz Bild 3 entspricht: die hohe Lehrwirksamkeit w-t-didaktisch erzeugter Lehrprogramme wird durch einen niedrigen Wirkungsgrad der didaktischen Arbeit bei diesen Verfahren erkauft, während mit Alskindi zwar ein hoher Wirkungsgrad der didaktischen Arbeit, aber dabei keine sehr hohe Lehrwirksamkeit des Arbeitsergebnisses erreicht wird. Die freie Programmierung fällt in beiden Vergleichsdimensionen ab. Für Alzudi war der Lehrstoff ungeeignet, d.h., er lag außerhalb des Anwendungsbereichs dieser Didaktik.

4.3 *Treffsicherheitsvergleiche didaktischer Strategien*

Die bisherige Auswertung berücksichtigte *nicht* die teilweise unterschiedlich geforderte Zielausprägung. Dieser Mangel wird behoben, wenn man die jeweils erreichten Schlußtestleistungen I auf den als Zielausprägung jeweils geforderten relativen Lernzuwachs I^{soll} bezieht. Dabei zeigt sich, daß die Ergebnisse wesentlich besser sind als Arlt selbst sie beurteilt, wenigstens wenn der (gegenüber den zu etwa 30 % veranschlagten Vorkenntnissen) geforderte Lernzuwachs I^{soll} nicht groß ist (Bild 6). Insbesondere erkennt man eine gute Treffsicherheit von Alskindi, aber auch des mit der freien Programmierung betrauten Teams.

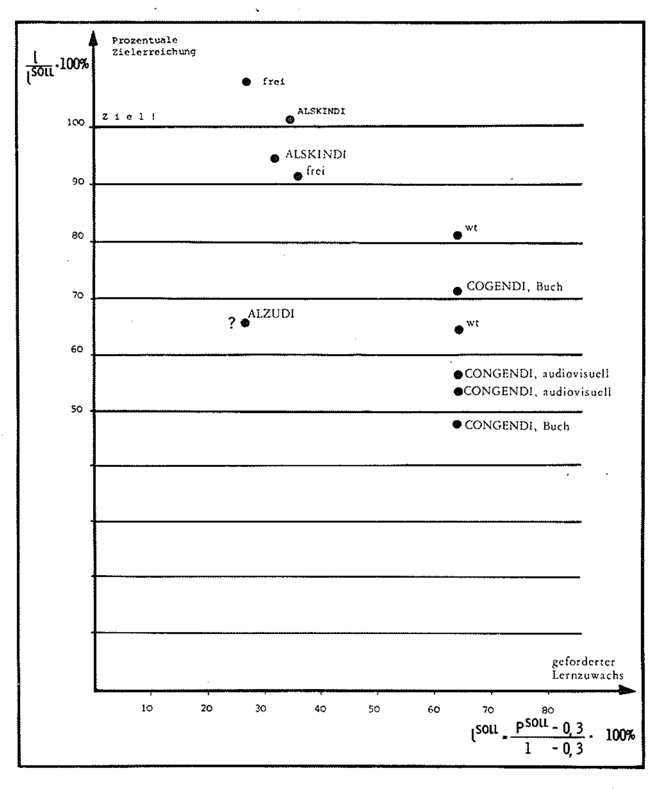


Bild 6: Prozentuale Erreichung des geforderten Lernzuwachses bei vergleichbaren Adressaten und Lehrstoffen durch verschiedene Lehrprogramme, die von vergleichbaren Programmiergruppen nach z.T. verschiedenen didaktischen Strategien erzeugt wurden.

5. *Wirtschaftlichkeitsvergleiche von Medien und Didaktiken*

Vergleichende Wertungen sind Entscheidungshilfen. Häufig trifft man die Entscheidung zugunsten des wirtschaftlichsten, d.h. in den Gesamtkosten günstigsten Verfahrens. Die in den letzten Abschnitten gewonnenen Ergebnisse weisen bei aller Vorläufigkeit wenigstens einen Weg zur Bestimmung von Wirtschaftlichkeitsgrenzen des objektivierten Unterrichts in seinen verschiedenen möglichen Durchführungs- und Vorbereitungsformen. Rentabel ist er dort, wo die Kosten der didaktischen Programmerstellung, der Medien, der Lernzeit und des Gesamtlehrbetriebs geringer sind als beim Direktunterricht, der während der Nutzzeit T eines Lehrprogramms in Klassen der Stärke g entsprechend häufig durchzuführen wäre. Auf eine Umsetzung dieses Grundgedankens in einen Rechnungsweg (vgl. Frank, 1974.C.1, C.2) muß hier verzichtet werden. Falls die Berechnungsgrundlagen der in Bild 7 eingezeichneten vorläufigen Rentabilitätsgrenzen nicht noch *wesentliche* Korrekturen erfahren, können u.a. folgende bildungsökonomische Aussagen gewagt werden:

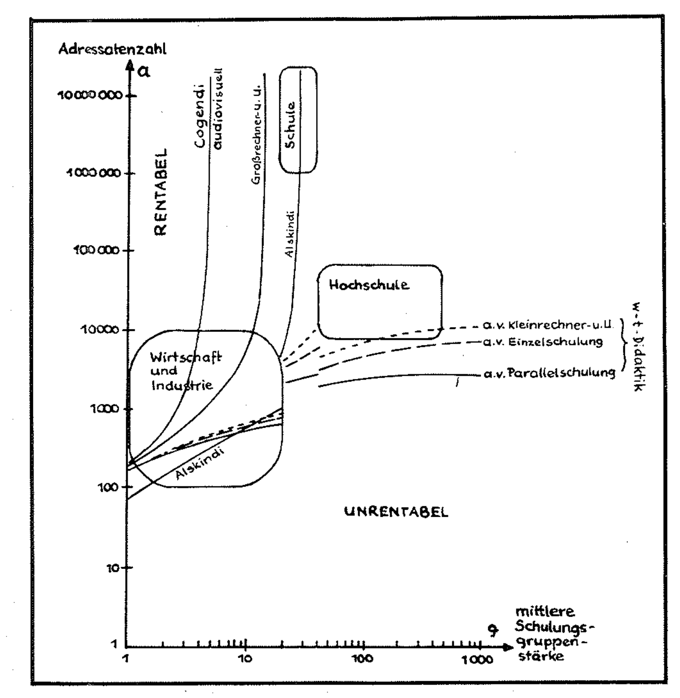


Bild 7: Wirtschaftlichkeitsgrenzen verschiedener Verfahren der Lehrobjektivierung bzw. der objektivierten Lehrprogrammerzeugung.

(1) Der Wirtschaftlichkeitsbereich w-t-didaktisch erzeugter, audiovisueller Parallelschulungsprogramme ist in der Regel größer als der von Lehrprogrammtexten, abgesehen von Alskindi-erzeugten Lehrprogrammtexten für einen Teil der rasch veraltenden Lehrstoffe von Wirtschaft und Industrie.

(2) Der Wirtschaftlichkeitsbereich der audiovisuellen Einzelschulung durch autonome Lehrautomaten (gestrichelte Linie) und durch den kleinrechnerunterstützten Unterricht (punktierte Linie) ist nicht wesentlich kleiner als der der Parallelschulung — jeweils eine Programmstrategie von Wirksamkeit und Wirkungsgrad der w-t-Didaktik vorausgesetzt.

(3) Der großrechnerunterstützte Unterricht ist mindestens bei strategischem Lehren in absehbarer Zeit lediglich in Teilen des Lehrstoffbereichs von Wirtschaft und Industrie ökonomisch.

Schrifttumsverzeichnis *

Arlt, W.: Empirische Ergebnisse beim Vergleich verschiedener Lehrprogrammier-Strategien. In: Formaldidaktiken. 1. Paderborner Werkstattgespräch, Hannover: Schroedel 1972. A.2, 153–173. (*IV)

Boeckmann u. Heymen: Vergleich der Wirkungsweise audiovisueller Lehrprogramme in Einzel-, Parallel- und Gruppenschulung. pl Programmiertes Lernen. Unterrichtstechnologie und Unterrichtsforschung 1972. D.1, Heft 2, 92–112.

Frank, H.: Kybernetische Grundlagen der Pädagogik. Eine Einführung in die Pädagogistik für Analytiker, Planer und Techniker des didaktischen Informationsumsatzes in der Industriegesellschaft. Erster Band: Allgemeine Kybernetik (XX+409 Seiten). Zweiter Band: Angewandte kybernetische Pädagogik und Ideologie (X+290 Seiten). Agis, Baden-Baden und Kohlhammer, Stuttgart, 1969. O.1. (2., erheblich erweiterte Aufl. von 1962. N.1)

Frank, H.; Hoepner, I.; Winguth, H.: Audiovisuelle Lehrmaschinenprogramme in der Hochschuldidaktik. In: B. Rollett u. K. Weltner (Hrsg.): Perspektiven des programmierten Unterrichts. Wien: Österreichischer Bundesverlag, 1970. D.1, 243–246. (*III)

Frank, H. u. Meder, B.: Einführung in die kybernetische Pädagogik. Deutscher Taschenbuch-Verlag, München, 1971. S.1; WR Band 4108, 204 S. (*V)

Frank, H.: Zur Verallgemeinerung des Lehrschrittbegriffs. GrKG Heft 2, 1973. A.1, S. 57–65.

Frank, H.: Bildungstechnologie und Lehrplanung. GrKG Bd. 14, Heft 3, 1973. B4, S. 73–84.

Frank, H.: Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit bildungstechnologischer Medien und Methoden. Paderborner Arbeitspapier, FEoLL, 1974. C.1.

Frank, H.: Neue Bildungsmedien und -technologien in der Schul- und Berufsausbildung. Kommission für wirtschaftlichen und sozialen Wandel, Bonn, 1974. C.2.

Graf, K.-D.: Formale Didaktik und Formaldidaktiken – Ein Überblick über Entwicklung und Ansätze bis 1971. GrKG 14/1, S. 109–120. 1973. B.1

Holzkampf, Chr.; Hasper, C.; Rauner, F.; Scholz, H.; Trotier, J.: Effektivität unterschiedlicher Präsentationsformen eines Lehrprogrammes. Zeitschrift für Berufsbildungsforschung 1972. D.1, Heft 1.

Issing und Schellenberg: Anwendungen von PU-Prinzipien auf die Gestaltung von Schulfernsehveranstaltungen – Eine Vergleichsuntersuchung. pl 2, 1969, S. 57–65.

Köbberling, Almut: Effektiveres Lehren durch Programmierten Unterricht? 1971

Lehnert, Uwe: Definition von Lehrstoff- und Lehrzielklassen des kognitiven Bereichs unter dem Aspekt der Lehrobjektivierung durch Rechner-Lehrsysteme. In: Zeitschrift für erziehungswissenschaftliche Forschung 1972. A.5, Heft 4, 219–239. (*IV)

Schmid, Wolfgang: Der Beginn der Sprachobjektivierung als Ansatz für eine Eigendidaktik. Habilitationsschrift Siegen 1973.

Walter, Hellmut: Lehrstrategie und Lehreffektivität. Reinhardt, München, 1973.

Weltner, Klaus: Eine vergleichende Untersuchung von Lernleistung und Erinnerungsfestigkeit bei programmiertem Unterricht und Direktunterricht. In: H. FRANK (Hrsg.): Lehrmaschinen in kybernetischer und pädagogischer Sicht, Bd. 2. Stuttgart-München: Klett-Oldenbourg, 1964a, S. 11–19.

Weltner, Klaus: Zur empirischen Bestimmung subjektiver Informationswerte von Lehrbuchtexten mit dem Ratetest von Shannon. GrKG 5, 3–11, 1964b.

Weltner, Klaus: Zum Ratetest nach Shannon. GrKG 1965, 6, 75–84.

* Auf Schriften, die bereits im kybernetisch-pädagogischen Schriftenverzeichnis von G. Lobin (FEoLL, Paderborn, 1973/74) erfaßt sind, wird im Text unter Verwendung des Klassifikationscodes hinter der Jahresangabe verwiesen. – Bei Arbeiten, die in einem der schon erschienenen Bände der Quellensammlung Meder/Schmid, Kybernetische Pädagogik (Kohlhammer, Stuttgart, 1973) nachgedruckt sind, ist der entsprechende Band nach einem * angegeben.

Eingegangen am 4. Februar 1974

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr. Helmar Frank, 479 Paderborn, Brockhöfe 2

Zu der Untersuchung des Schwierigkeitsgrades von Explanationen

von Vlastimil POLÁK, Paderborn

aus dem Institut für Bildungsinformatik am Forschungs- und Entwicklungszentrum für objektivierte Lehr- und Lernverfahren (Direktor: Prof. Dr. Miloš Lánský)

In der pädagogischen Praxis kommt es häufig vor, daß irgendeine Aufgabe als schwierig und eine andere dagegen als leicht bezeichnet wird. Welche Kriterien erlauben es, derartige Aussagen zum Schwierigkeitsgrad einer Aufgabe zu machen?

Bekanntlich sind zwei Aspekte bei der Untersuchung hinsichtlich der Schwierigkeit einer Aufgabe zu berücksichtigen:

1. Individuelle Veranlagungen, ein Problem zu lösen (d.h. dieselbe Aufgabe kann für verschiedene Personen unterschiedlich schwierig sein)
2. Die Schwierigkeit, die sich auf das Problem selbst bezieht (d.h. eine Aufgabe kann aufgrund ihrer Struktur als schwierig oder leicht im allgemeinen Sinne bezeichnet werden).

Bis jetzt sind aber keine befriedigenden Methoden bekannt, mit denen man den subjektiven und objektiven Schwierigkeitsgrad einer Aufgabe angeben kann.

In der psychologischen Literatur (z.B. im Lexikon der Psychologie von Arnold, Eysenck, Meile) versteht man unter Schwierigkeit oder Schwierigkeitsindex der psychologischen Aufgabe (Item) den relativen Anteil von Vpn, die eine gegebene Aufgabe lösen; eine leichte Aufgabe hat also einen hohen Schwierigkeitsindex und eine schwere einen niedrigen. Die Schwierigkeit kann als Wahrscheinlichkeit dafür angesehen werden, daß eine zufällig ausgewählte Vp eine Aufgabe in einer vorbestimmten Richtung beantwortet. Die Schwierigkeit einer Testaufgabe ist dabei definiert durch den Prozentsatz der Vpn, die diese Testaufgabe lösen.

Zur Zeit wird unter Fachleuten die Möglichkeit der Anwendung von „Rasch-Modellen" diskutiert. Man erwartet, daß die „Rasch-Modelle" dazu beitragen können, das Testen und Prüfen weiter zu objektivieren. Diese neuen Modelle des Schwierigkeitsgrades beruhen im Gegensatz zu den früheren deterministisch orientierten Modellen auf einer probabilistischen Grundlage.

Bei der Anwendung von SEQUO-VERBAL (Lánský 1972) zur Strukturierung von Lehrprogrammen war bis jetzt der Schwierigkeitsgrad einer Explanation aus den Begriffsskeletten aufgrund der subjektiven Erfahrung und Einschätzung des Programmautors

festgelegt. Der Schwierigkeitsgrad T_1 (für schneller lernende Schüler) resp. T_2 (für langsamer lernende Schüler) wurde dabei mit Rücksicht auf die Aufgabe selbst sowie auch auf den Adressaten geschätzt. In SEQUO-VERBAL definiert man den Schwierigkeitsgrad einer Explanation als die Anzahl der Wiederholungen, die für einen Lernenden notwendig sind, um sich den Begriff in einem Lehrprogramm sicher anzueignen. In diesem Zusammenhang tauchte die Frage auf, ob nicht ein Computer die Zuordnung des entsprechenden Schwierigkeitsgrades für jede Explanation automatisch erledigen könnte.

Die Beschreibung der folgenden Verfahren stellt einen Versuch dar, den Schwierigkeitsgrad für jede vorkommende Explanation aufgrund von Strukturanalysen in einer Art festzustellen, die der intuitiven Schätzung der Lehrprogrammautoren möglichst nahe kommt. Unabhängig von den Adressaten, nur aus der Struktur der Aufgabe allein, hat man sich bemüht, formal den Schwierigkeitsgrad abzuleiten. Wenn man also in dieser Situation nach dem Schwierigkeitsgrad eines Begriffes fragt, dann bleibt als Kriterium nur die Lage im Struktur-Graphen übrig. Die Schwierigkeit des Begriffes wird also zu seiner Lage im Struktur-Graphen in Beziehung gesetzt. Die Ableitung des Schwierigkeitsgrades aus der Begriffsstruktur wurde mit Hilfe des vom Autor entwickelten Maßes für den Informationsgehalt von Superzeichen (Polák, 1972, S. 26) durchgeführt. Man nimmt an, daß sich das Maß des Informationsgehaltes auf eine Begriffsstruktur übertragen läßt und hofft dadurch, gewisse allgemeine Gesetzmäßigkeiten durch den Isomorphismus dieser beiden Strukturen (Aufgabe und Superzeichenbildung) in der qualitativen Bewertung herauszufinden. Anhand der festgelegten Repertoire-Information (I_R), des Reduktionsmaßes (I_{rM}), des Maximaßes (I_M) und des Durchschnittsmaßes (I_D) hat man den Schwierigkeitsgrad für das Repertoire-Modell (T^1_R, resp. T^2_R), reduzierte Repertoire-Modell (T^1_{rR}, resp. T^2_{rR}), Maxi- (T^1_M, resp. T^2_M) und Durchschnittsmodell (T^1_D, resp. T^2_D) bezeichnet (Polák, 1973a).

Da dieser Zugang zu diesem Problem die komplizierte Lernsituation erheblich vereinfacht, sollte man die so erhaltenen Daten mit den Erfahrungswerten und den experimentell gewonnenen Ergebnissen konfrontieren.

Die Anwendung der vier vorgeschlagenen Modelle zur Bestimmung des Schwierigkeitsgrades einer Explanation setzt voraus, daß man generell die Strukturanalyse jedes Begriffes schon hat. D.h. man muß wissen, wie die zu erklärenden Begriffe untereinander abhängig sind. Das entsprechende Verfahren wurde jedoch bereits im Zusammenhang mit der Methode SEQUO-VERBAL entwickelt.

Inwieweit ein formelmäßig ermittelter Schwierigkeitsgrad T^1_F, resp. T^2_F mit dem vom Lehrprogrammautor geschätzten Schwierigkeitsgrad T^1_T resp. T^2_T übereinstimmt, wird hier anhand eines Beispiels – Begriff „Rakete" – untersucht (Lánský 1972, S. 182). Das „F" unter T_1 resp. T_2 bezieht sich auf eine der vier Formeln, die vorstehend erläutert sind. Das „T" unter T_1 resp. T_2 bedeutet, daß diese Größe einer Tabelle zu entnehmen ist. Zu dem gewählten Beispiel wurde der entsprechende Struktur-Graph konstruiert (Bild 1).

1. *Das Repertoire-Modell*

Anhand dieses Informationsmodells für den Begriff „Rakete" wurde zuerst die „Repertoire-Information" I_R jeder vorkommenden Explanation nach der Formel

$$I_R =_{Def} \sum_{e,f \in \mathfrak{M}} I(e,f)$$

berechnet (siehe Bild 2), wobei $I(e,f)$ die Kanteninformation bezeichnet

$$I(e,f) =_{Def} \frac{H(e)}{m(f)}$$

und $H(e)$ die Entropie der Ecke e des Begriffsbaumes und $m(f)$ die Multiplizität der Ecke f ist (siehe Polák 1973a, S. 7). $\mathfrak{M}$ ist die Menge aller Explanationen. Unter dem „Repertoire" eines Begriffes versteht man die Menge aller vorkommenden Explanationen, die zu seiner Erklärung notwendig sind.

2. *Das reduzierte Repertoire-Modell*

Mit Hilfe dieses Informationsmodells für den Begriff „Rakete" wird das „Reduktionsmaß" I_{rM} (siehe Bild 2) für jede vorkommende Explanation y_i nach der Formel berechnet:

$$I_{rM}(y_i) =_{Def} \delta \cdot rR(y_i)$$

wobei δ die Anzahl der Startbegriffe angibt und rR das „reduzierte Repertoire" ist. Das reduzierte Repertoire einer Explanation bezeichnet die Anzahl aller voneinander verschiedenen Explanationen aus dem Repertoire des Begriffes, gleichgültig in welchem Zweig des Begriffsbaumes und welcher Ebene sie vorkommen.

3. *Das Maxi-Modell*

In diesem Modell ist das Informationsmaß I_M (siehe Bild 2) jeder vorkommenden Explanation als der längste Weg vom zu erklärenden Begriff bis zu einem der Startbegriffe definiert. Unter der Länge des Weges versteht man die Anzahl der Explanationen, die bis zum Startbegriff hinunterführen.

4. *Das Durchschnittsmodell*

In diesem Fall ist das Informationsmaß I_D (siehe Bild 2) jeder vorkommenden Explanation gleich dem arithmetischen Mittel aller Längen der möglichen Wege vom Begriff bis zum Startbegriff.

HERMANN SCHROEDEL
VERLAG KG

3000 HANNOVER

Postfach 260620

HERMANN SCHROEDEL
VERLAG KG

3000 HANNOVER

Postfach 260620

Bild 1: Begriffsbaum

Test Rakete

- e'_1 Rakete rückwärts
  - e'_2 Rakete
    - e'_4 Hülse
    - e'_5 Düse
  - e'_3 Düse
    - e'_6 kleine Öffnung
- e_1 Rückstoß
  - e_2 Boot Bewegung
    - e_5 Sprung
    - e_6 Boot vorwärts
  - e_3 Luftballon Bewegung
    - e_7 Ablassen der Luft
    - e_8 Luftballon vorwärts
  - e_4 Rakete Bewegung
    - e_9 Ausström. der Gase
    - e_{10} Rakete vorwärts
- e''_1 Sprengstoff-Lage
  - e''_2 Hülse
    - e''_4 Hülse Beschreibung
  - e''_3 Sprengstoff
    - e''_5 letzte Stunde

Bestellkarte

Ich / Wir bestelle(n)

__________ **Ex. „Grundlagenstudien aus Kybernetik und Geisteswissenschaft"**

im Abonnement ab Jahrgang ....
Erscheinungsweise: vierteljährlich ein Heft

Bezugspreis: Einzelheft DM 7,40
Für Studenten ermäßigter Preis: DM 5,55
Jahresabonnement: DM 29,60
Für Studenten: DM 22,20 zuzüglich Postgebühren

Lieferung und Rechnung erbeten an:

Name

Postleitzahl / Ort Straße

Bestellkarte

Ich / Wir bestelle(n)

__________ **Ex. „Grundlagenstudien aus Kybernetik und Geisteswissenschaft"**

im Abonnement ab Jahrgang ....
Erscheinungsweise: vierteljährlich ein Heft

Bezugspreis: Einzelheft DM 7,40
Für Studenten ermäßigter Preis: DM 5,55
Jahresabonnement: DM 29,60
Für Studenten: DM 22,20 zuzüglich Postgebühren

Lieferung und Rechnung erbeten an:

Name

Postleitzahl / Ort Straße

Schriftleitung der
Grundlagenstudien aus Kybernetik und Geisteswissenschaft
im

INSTITUT FÜR KYBERNETIK
Gemeinnützige Forschungs- und Entwicklungsgesellschaft m.b.H.
DIREKTOR: O. PROF. DR. HELMAR FRANK

Abs.: Institut für Kybernetik GmbH, D-479 Paderborn, Riemekestraße 62

TELEFON 05251-320900
oder über 05251-32023

Rundbrief an alle Bezieher und Leser
der Grundlagenstudien aus Kybernetik
und Geisteswissenschaft

Ihr Zeichen	Ihre Nachricht vom	Unser Zeichen	Paderborn
		BFB/eh	15. Dez. 1973

Sehr geehrte Damen und Herren!

Das vergrößerte Manuskriptangebot führte wiederholt zu Verzögerungen in der Veröffentlichung insb. umfangreicher Beiträge. Nur durch eine Erhöhung der Abonnentenzahl kann ohne Bezugspreiserhöhung der Umfang der einzelnen Hefte unserer Zeitschrift so vergrößert werden, daß künftig wieder die gewohnt rasche Veröffentlichung neuer Originalarbeiten sichergestellt ist. Dies liegt zweifellos im gemeinsamen Interesse von Autoren, Lesern und Schriftleitern.

Sicher kennen Sie Kollegen, die im Spannungsfeld zwischen Kybernetik und Geisteswissenschaft tätig sind oder die sich allgemein für Fragen des künftigen Bildungswesens, der Wissenschaftsgeschichte oder der Wissenschaftstheorie interessieren und die GrKG noch nicht beziehen. Eine Empfehlung dieser ältesten deutschsprachigen kybernetischen Fachzeitschrift gerade durch Sie könnte in manchen Fällen zu einer weiteren Verbreitung unserer Zeitschrift führen. Sicher haben Sie auch Einfluß auf eine öffentliche, eine Hochschul-, Lehrer-, Werks- oder eine sonstige Bibliothek der die GrKG noch fehlen. Mit einer Empfehlung zum (vielleicht sogar rückwirkenden) Bezug unserer Zeitschrift durch diese Bibliothek würden Sie unsere gemeinsamen Anliegen wesentlich fördern. - Die Bestellung kann am bequemsten mit einer Bestellkarte erfolgen, die Sie bitte aus dem gegenwärtigen Heft der GrKG herauslösen wollen. Auf Wunsch sendet Ihnen der Verlag weitere Bestellkarten zu, jedoch kann eine Bestellung auch formlos erfolgen. -

Wir möchten uns gerne für Ihre Hilfe erkenntlich zeigen, indem wir Ihnen für jeden durch Sie vermittelten neuen Bezieher ein wissenschaftliches Buch aus dem Themenbereich unserer Zeitschrift überreichen. Dazu steht uns die mit unserer Unterstützung soeben im Verlag Kohlhammer, Stuttgart, erschienene Quellensammlung zur kybernetischen Pädagogik zur Verfügung, die auch zahlreiche Originalarbeiten aus den Nachbargebieten der Bildungstechnologie enthält (Informationsästhetik, Informationspsychologie, Sprachkybernetik, Philosophie der Kybernetik u.a.):

B.S. Meder und W. Schmid (Hsg) Kybernetische Pädagogik - Schriften 1958 - 1972, 4 Bände, Dünndruck, ganzleinen-gebunden, Stuttgart 1973.

Band 1: Gesammelte deutschsprachige wissenschaftliche Originalbeiträge von Helmar Frank als Alleinautor, 687 S.

Band 2: Gesammelte deutschsprachige Beiträge einführender oder wertender Art von Helmar Frank als Alleinautor, 529 S.

Band 3: Gesammelte fremdsprachige Beiträge von Helmar Frank sowie dessen gemeinsam mit anderen Autoren (Prof. Dr. Gunzenhäuser, Prof. Dr. Steinbuch, Porf. Dr. Wendt, Prof. Dr. Graf, Prof. Dr. Pietsch u. a.) verfaßte Beiträge, 669 S.

Band 4: Gesammelte Beiträge von Prof. Dr. W. Arlt, Prof. Dr. K. Boeckmann, Dr. H. Closhen, Prof. Dr. K.-D. Graf, Dr. O. Hertkorn, Prof. N. Heymen, Prof. Dr. U. Lehnert, B.S. Meder, Prof. Dr. E. Pietsch, F. Rauner, H. Richter, Prof. H. Riedel, W. Seipp u. a. aus dem Institut für Kybernetik Berlin/Paderborn, 920 S.

Bitte geben Sie auf dem beigefügten Anwortformblatt Name und Ort der von Ihnen gewonnenen neuen Bezieher an und tragen Sie ein, wie wir die entsprechende Anzahl von Büchern, die wir Ihnen als Dank zusenden dürfen, auf die 4 Bände der obigen Quellensammlung verteilen dürfen. (Sollten Sie nach Absendung des Antwortformblatts noch weitere neue Bezieher gewinnen können, dann verständigen Sie uns bitte davon und von Ihren zusätzlichen Buchwünschen durch ein formloses Schreiben an uns.) Sie erhalten die gewünschten Bücher sofort nach Eingang der Bestellung des neuen Beziehers beim Verlag. (Ihre Mitteilung an die Schriftleitung ersetzt diese Bestellung nicht; wir werden den Verlag auch nicht veranlassen, an den von Ihnen genannten möglichen Bezieher heranzutreten!) Sicher haben Sie Verständnis dafür, daß wir bei dieser Aktion nur Neubestellungen berücksichtigen können, die zwischen dem 15.12.73 und dem 30.4.74 beim Verlag eingehen, und die uns nicht schon vor Ihnen ein anderer Leser angekündigt hatte - es sei denn, in der Bestellung werde ausdrücklich auf Sie Bezug genommen. Ihre Mitteilung an uns braucht nicht vor dem Eingang der Bestellung vorzuliegen, jedoch benötigen wir sie vor dem 15.4.1974.

Noch eines: zögern Sie nicht, sich selbst zu werben, falls Sie bisher nur Leser nicht auch Bezieher der GrKG waren, oder falls Sie ein zweites Abonnement z.B. als Geschenk an einen Studenten, einen ausländischen Kollegen oder einen Freund zeichnen wollen. Auch dafür erhalten Sie selbstverständlich den gewünschten Geschenkband!

Mit freundlichen Grüßen

Brigitte Frank-Böhringer

(Brigitte Frank-Böhringer)
Geschäftsführende Schriftleiterin

An die
Schriftleitung der "Grundlagenstudien aus Kybernetik und Geisteswissenschaft"
c/o Institut für Kybernetik

D-479 PADERBORN

Riemekestraße 62

Ort Datum

Betr.: Ihr Rundschreiben vom 15. 12. 1973

Zur Unterstützung der GrKG konnte ich die umseitig aufgeführten künftigen Bezieher gewinnen. Soweit noch nicht geschehen, werden diese die Bestellung noch vor Ablauf des Monats April an den Verlag Schroedel nach Hannover schicken.

An den mir angebotenen Gratisexemplaren einzelner Bände der Quellensammlung "Kybernetische Pädagogik" bin ich interessiert. Die mir zugesicherte (der Anzahl der umseitig aufgeführten Neubesteller gleiche) Zahl von insgesamt ..... Freiexemplaren bitte ich wie folgt auf die vier Bände zu verteilen:

.....Exemplare von Band 1
.....Exemplare von Band 2
.....Exemplare von Band 3
.....Exemplare von Band 4

Bitte senden Sie mir diese Bände

- nacheinander jeweils sofort nach Eintreffen der einzelnen Bestellungen
- als Gesamtsendung sofort nach Vorliegen der letzten der angekündigten Bestellungen, jedoch spätestens in der ersten Maiwoche 1974

an meine unten angegebene Adresse.

....
(Unterschrift)

Name :
Wohnort :
Straße :

Vorankündigungen von Bestellungen der GrKG:

1) Name:
Wohnort:
Zweckdienliche nähere Kennzeichnung
(z.B. Anschrift, Dienststelle, Funktion etc.):

2) Name:
Wohnort:
Zweckdienliche nähere Kennzeichnung
(z.B. Anschrift, Dienststelle, Funktion etc.):

3) Name:
Wohnort:
Zweckdienliche nähere Kennzeichnung
(z.B. Anschrift, Dienststelle, Funktion etc.):

4) Name:
Wohnort:
Zweckdienliche nähere Kennzeichnung
(z.B. Anschrift, Dienststelle, Funktion etc.):

5) Name:
Wohnort:
Zweckdienliche nähere Kennzeichnung
(z.B. Anschrift, Dienststelle, Funktion etc.):

Bestellkarte

Ich / Wir bestelle(n)

_____________ **Ex. „Grundlagenstudien aus Kybernetik und Geisteswissenschaft"**

im Abonnement ab Jahrgang ....
Erscheinungsweise: vierteljährlich ein Heft

Bezugspreis: Einzelheft DM 7,40
Für Studenten ermäßigter Preis: DM 5,55
Jahresabonnement: DM 29,60
Für Studenten: DM 22,20 zuzüglich Postgebühren

Lieferung und Rechnung erbeten an:

Name

Postleitzahl / Ort   Straße

Bestellkarte

Ich / Wir bestelle(n)

_____________ **Ex. „Grundlagenstudien aus Kybernetik und Geisteswissenschaft"**

im Abonnement ab Jahrgang ....
Erscheinungsweise: vierteljährlich ein Heft

Bezugspreis: Einzelheft DM 7,40
Für Studenten ermäßigter Preis: DM 5,55
Jahresabonnement: DM 29,60
Für Studenten: DM 22,20 zuzüglich Postgebühren

Lieferung und Rechnung erbeten an:

Name

Postleitzahl / Ort   Straße

HERMANN SCHROEDEL
VERLAG KG

3000 HANNOVER

Postfach 260 620

HERMANN SCHROEDEL
VERLAG KG

3000 HANNOVER

Postfach 260 620

Explanationen y_i	Repertoire-Modell			reduziertes Repertoire-Modell			Maxi-Modell			Durchschnittsmodell			Schätzwerte des Programmautors	
	I_R	T_{1R}	T_{2R}	I_{rR}	T_{1rR}	T_{2rR}	I_M	T_{1M}	T_{2M}	I_D	T_{1D}	T_{2D}	T_{1T}	T_{2T}
1) Rückstoß	32,2	3,96	4,47	7,3	3,15	4,15	8	2,31	3,49	4,7	1,76	2,88	3	4
2) Luftballon Bewegung	10,7	1,41	1,92	1,8	1,28	2,00	4	1,39	2,09	3,3	1,36	2,18	2	3
3) Boot Bewegung	6,7	1,81	2,32	1,5	1,18	1,89	4	1,39	2,09	3,25	1,34	2,36	2	3
4) Rakete Bewegung	10,0	1,74	2,25	3,8	1,96	2,78	7	2,08	3,14	5,0	1,85	3,03	2	3
5) Sprung	4,7	1,21	1,72	1,0	1,01	1,69	3	1,16	1,74	2,3	1,07	1,68	1	2
6) Boot vorwärts	0,0	0,74	1,25	0,5	0,84	1,50	2	0,93	1,39	2,0	0,98	1,53	1	2
7) Ablassen der Luft	6,7	1,41	1,92	1,3	1,11	1,81	3	1,16	1,74	2,5	1,13	1,78	1	1
8) Luftballon vorwärts	2,0	0,94	1,45	0,8	0,94	1,61	2	0,93	1,39	2,0	0,98	1,53	1	2
9) Ausströmung der Gase	4,0	1,14	1,65	2,5	1,52	2,28	6	1,85	2,79	4,6	1,73	2,83	1	2
10) Rakete vorwärts	4,0	1,14	1,65	1,5	1,18	1,89	4	1,39	2,09	3,3	1,36	2,18	1	1
11) Boot	0,0	0,74	1,25	0,3	0,77	1,42	1	0,7	1,04	1,0	0,69	1,03	1	1
12) Boot rückwärts	0,0	0,74	1,25	0,5	0,84	1,5	2	0,93	1,39	2,0	0,98	1,53	1	2
13) Schwimmer	0,0	0,74	1,25	0,3	0,77	1,42	1	0,7	1,04	1,0	0,69	1,03	1	1
14) Luftballon	0,0	0,74	1,25	0,3	0,77	1,42	1	0,7	1,04	1,0	0,69	1,03	1	1
15) Luftballon rückwärts	2,0	0,94	1,45	0,8	0,94	1,61	2	0,93	1,39	2,0	0,98	1,53	1	2
16) Luft	0,0	0,74	1,25	0,3	0,77	1,42	1	0,7	1,04	1,0	0,69	1,03	1	1
17) kleine Öffnung	0,0	0,74	1,25	0,3	0,77	1,42	1	0,7	1,04	1,0	0,69	1,03	1	1
18) Gase	2,0	0,94	1,45	1,5	1,18	1,89	5	1,62	2,44	4,5	1,71	2,78	1	2
19) Düse	0,0	0,74	1,25	0,5	0,84	1,50	2	0,93	1,39	2,0	0,98	1,53	1	2
20) Rakete	2,0	0,94	1,45	1,3	1,11	1,81	3	1,16	1,74	2,5	1,13	1,78	1	2
21) Bild des Bootes*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22) Luftballon Versuch*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23) Verbrennung	2,0	0,94	1,45	1,3	1,11	1,81	4	1,39	2,09	3,5	1,42	2,28	1	2
24) Hülse	0,0	0,74	1,25	0,3	0,77	1,42	1	0,7	1,04	1,0	0,69	1,03	1	1
25) Sprengst.-Entzündung	2,0	0,94	1,45	1,0	1,01	1,69	2	0,93	1,39	2,0	0,98	1,53	1	2
26) Hülse Beschreibung*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27) Lunte	0,0	0,74	1,25	0,5	0,84	1,50	2	0,93	1,39	2,0	0,98	1,53	1	1
28) Sprengstoff	0,0	0,74	1,25	0,3	0,79	1,43	1	0,7	1,04	1,0	0,69	1,03	1	2
29) Zündfaden	0,0	0,74	1,25	0,3	0,77	1,42	1	0,7	1,04	1,0	0,69	1,03	1	2
30) letzte Stunde*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31) Sprengstoff-Lage	2,0	0,94	1,45	1,5	1,18	1,89	2	0,93	1,39	2,0	0,98	1,53	1	1
32) Rakete rückwärts	4,0	1,14	1,65	1,0	1,01	1,69	4	1,39	2,09	3,3	1,36	2,18	1	1

* = Startbegriff

Bild 2

Nun erhebt sich die Frage, welches von diesen Modellen der pädagogischen Realität am besten entspricht. Wie kommt man eigentlich von den Informationsmaßen zu den gesuchten Schwierigkeitsgraden?

Das vom Autor vorgeschlagene Verfahren geht von folgenden Ideen (vgl. Polák, 1973b) aus:

Man nimmt an, daß sich der Schwierigkeitsgrad einer Explanation durch ein ihr entsprechendes Informationsmaß darstellen läßt. Darüber hinaus wird man den vom Programmautor geschätzten, sog. tabellarischen Schwierigkeitsgrad $\underset{\mathrm{T}}{T_1}$ und $\underset{\mathrm{T}}{T_2}$ für das Beispiel „Rakete" in gewissem Sinne als korrekt ansehen müssen, weil diese Schätzwerte für $\underset{\mathrm{T}}{T_1}$ und $\underset{\mathrm{T}}{T_2}$ in der Praxis ausreichend erprobt sind.

Um den Schwierigkeitsgrad einer Explanation feststellen zu können, versucht man mit Hilfe der linearen Regression in Verbindung mit der Methode der kleinsten Quadrate (siehe Polák, 1973b; S. 10) die Entscheidung für die beste Alternative herauszufinden, die sich beim Durchspielen aus einer der vier angeführten Modelle ergibt (siehe Bild 2). D.h. man wird zuerst die Koeffizienten a und b ermitteln und in die Formeln $\underset{\mathrm{F}}{T_1} = \underset{\mathrm{F}}{a_1} \cdot I_{\mathrm{F}} + \underset{\mathrm{F}}{b_1}$, resp. $\underset{\mathrm{F}}{T_2} = \underset{\mathrm{F}}{a_2} \cdot I_{\mathrm{F}} + b_2$ einsetzen.

Die berechneten Daten deuten an, daß

a) die beste Übereinstimmung zwischen einem Modell und dem subjektiv geschätzten Schwierigkeitsgrad beim reduzierten Repertoire-Modell erreicht wird. Mit Hilfe des Ausdruckes

$$\text{(1a)} \qquad \frac{\sum_i \left(\underset{\mathrm{F}}{T_1} - \underset{\mathrm{T}}{T_1}\right)^2}{n} \qquad \text{für die schnell Lernenden}$$

resp.

$$\text{(1b)} \qquad \frac{\sum_i \left(\underset{\mathrm{F}}{T_2} - \underset{\mathrm{T}}{T_2}\right)^2}{n} \qquad \text{für die langsamer Lernenden}$$

hat man die Übereinstimmung zwischen dem berechneten und dem vom Programmautor geschätzten Schwierigkeitsgrad getestet, wobei die Zahl n die Anzahl der berücksichtigten Explanationen angibt. Der Wert $\underset{\mathrm{F}}{T_1}$, resp. $\underset{\mathrm{F}}{T_2}$ war jeweils mit Hilfe eines von den vier angeführten Modellen berechnet und in das Bild 2 eingetragen. Die Werte $\underset{\mathrm{T}}{T_1}$, resp. $\underset{\mathrm{T}}{T_2}$ geben den vom Programmautor geschätzten Schwierigkeitsgrad einer Explanation für den schneller resp. langsamer lernenden Schüler an und diese Werte sind ebenso in das Bild 2 eingetragen.

Man ist zu den folgenden Ergebnissen gekommen:

Modell \ Ausdruck	$\frac{\sum_i (\underset{\mathrm{F}}{T_1} - \underset{\mathrm{T}}{T_1})^2}{n}$	$\frac{\sum_i (\underset{\mathrm{F}}{T_2} - \underset{\mathrm{T}}{T_2})^2}{n}$
Repertoire-Modell	0,11	0,35
reduziertes Repertoire-Modell	0,07	0,30
Maxi-Modell	0,12	0,37
Durchschnittsmodell	0,14	0,40

Bild 3

b) daß zwischen dem Schwierigkeitsgrad $\underset{\mathrm{F}}{T_2}$ in jedem Modell und dem subjektiv festgelegten Schwierigkeitsgrad $\underset{\mathrm{T}}{T_2}$ eine beträchtliche Differenz existiert.

Um die Ursache für das Auftreten der Differenz klar herauskristallisieren zu können, hat man erst die Werte für den Schwierigkeitsgrad $\underset{\mathrm{rR}}{T_1}$ und $\underset{\mathrm{rR}}{T_2}$ im reduzierten Repertoire-Modell auf ganze Zahlen gerundet. Da der Programmautor nur mit den ganzen Zahlen für T-Werte operiert hat, wäre es also durchaus möglich, daß die Differenz dadurch entsteht. Die Ausdrücke (1a) bzw. (1b) nehmen für das reduzierte Repertoire ($F = rR$) die Werte 0,08 resp. 0,35 an. Das heißt aber, daß das Runden hier keine besondere Rolle spielt. Im Gegenteil, die Differenz vergrößert sich durch das Runden.

Auch der Versuch, die T_2-Werte nur auf eine Nachkommastelle zu runden, bringt keine besseren Ergebnisse. Während die $\underset{\mathrm{rR}}{T_2}$- und $\underset{\mathrm{F}}{T_2}$-Werte sehr auseinanderliegen, decken sich die $\underset{\mathrm{F}}{T_1}$- und $\underset{\mathrm{T}}{T_1}$-Werte sehr gut, infolgedessen man annehmen kann, daß der Programmautor nur $\underset{\mathrm{T}}{T_1}$-Werte exakt geschätzt hat, aber die $\underset{\mathrm{T}}{T_2}$-Werte lediglich um ganze Zahlen variiert hat. Dementsprechend müssen die Tabellenwerte $\underset{\mathrm{T}}{T_2}$ von den $\underset{\mathrm{T}}{T_1}$-Werten abhängen, was dann wahrscheinlich die signifikanten Differenzen hervorgerufen hat.

Zusammenfassung:

Falls empirische Daten im Einzelfall nicht vorhanden sind, so kann man den Schwierigkeitsgrad eines Begriffes y_i, der für die Zahl der erforderlichen Wiederholungen maßgebend ist, nach der Beziehung

$$\underset{\mathrm{rR}}{T_1}(y_i) = 0{,}34\ I_{\mathrm{rM}}(y_i) + 0{,}67, \quad \text{resp.}$$

$$\underset{\mathrm{rR}}{T_2}(y_i) = 0{,}39\ I_{\mathrm{rM}}(y_i) + 1{,}3$$

ermitteln.

Schrifttumsverzeichnis

Lánský, M.: Ein Beispiel für die Anwendung der Methode VERBAL. In: Mertens, P.: Angewandte Informatik, Walter de Gruyter 1972, S. 190 ff

Polák, V.: Empirische Untersuchungen zur Bestimmung des Informationsmaßes für Superzeichen, Paderborner Forschungsberichte des Institutes für Bildungsinformatik, Paderborn 1972

Polák, V.: Modell-Varianten zur Bestimmung des Schwierigkeitsgrades von Explanationen, Arbeitspapier des Institutes für Bildungsinformatik am FEoLL, Paderborn 1973a

Polák, V.: Auswahl einer Formel zur Bestimmung des Schwierigkeitsgrades von Explanationen, Arbeitspapier des Institutes für Bildungsinformatik am FEoLL, Paderborn 1973b

Eingegangen am 20. September 1973

Anschrift des Verfassers:

Dr. Vlastimil Polák, Institut für Bildungsinformatik im FEoLL
4790 Paderborn, Rathenaustr. 69–71

Analogiekriterien zur Unterscheidung adaptiver Maschinen und lernender biologischer Systeme

von Volker SCHURIG, Berlin

aus dem Psychologischen Institut der Freien Universität Berlin

Strukturvergleiche kybernetischer und biologischer Systeme können auf drei verschiedenen Ebenen durchgeführt werden.

Bei einem Vergleich der *quantitativen* Leistungsfähigkeit als erster Ebene werden etwa Stabilitätskriterien von Regelkreisen oder die informationstheoretische Aufnahme und Verarbeitung von Signalen in Organismen und technischen Systemen gegenübergestellt. Durch die Entstehung der Bionik sind hier in der Gegenwart erhebliche Fortschritte erzielt worden. Die Speicherkapazität biologischer Systeme im Langzeitgedächtnis, die auf $10^{10}-10^{14}$ bit geschätzt wird (Trincker 1967b, Drischel 1972b), steht dann z.B. der Kapazität technischer Systeme von $10^{5}-10^{8}$ bit (Sachsse 1968) gegenüber, entsprechende Werte lassen sich auch für die Zugriffszeit, die Schaltgeschwindigkeit, die Kanalkapazität usw. anführen. Technische Systeme erreichen gegenwärtig bereits eine erheblich größere Schaltgeschwindigkeit als Organismen ($10^{-7}-10^{-5}$ sec gegenüber $10^{-2}-10^{-1}$ sec in lebenden Systemen), erfüllen mit einer Zugriffszeit von 10^{-6} sec (Sachsse 1968) größere Anforderungen an Schnelligkeit und Genauigkeit und sind sowohl unter monotonen Umweltverhältnissen als auch unter hochspezialisierten Bedingungen zuverlässiger. Die bisher bekannte maximale Nervenleitgeschwindigkeit im Tractus spino-cerebellaris beträgt 135 m/sec. Die organisatorische Überlegenheit biologischer Systeme gegenüber Maschinen beruht dagegen vor allem auf der Kleinheit der Bauelemente ($10^{-8}-10^{-5}$ cm^3) und der damit verbundenen erstaunlichen Raumausnutzung. So enthält das menschliche Gehirn $10^{9}-10^{11}$ Nervenzellen, deren Axone ein bis hundert synaptische Kontakte zur Oberfläche anderer Nervenzellen besitzen (Grüsser, Klinke, Kossow 1968).

Die zweite Gruppe von Merkmalsvergleichen biologischer und technischer Systeme ist primär auf die Systematik vermuteter oder bereits faktisch festgestellter *qualitativer* Unterschiede in der Organisationsstruktur ausgerichtet. In der theoretischen Diskussion spielen dabei besonders die Eigenschaften der Zielgerichtetheit, der Ganzheit und die Spontaneität eine wichtige Rolle, die von der Biokybernetik unter systemtheoretischen, informationstheoretischen und regelungstheoretischen Gesichtspunkten präzisiert werden. Tatsächlich verfügen Organismen über eine technisch nur schwer modellierbare dynamische Plastizität und Regenerationsfähigkeit als ‚Ganzheit'. Allerdings können auch hier die biologischen Systeme gegenüber ihren technischen Äquivalenten negativ charakterisiert werden, z.B. durch die Ermüdbarkeit der Lern- und Erregungsprozesse. Dazu kommt, daß zwischen dem Eintreffen des Aktionspotentials an der Endigung des

afferenten Axons und dem Beginn des exzitatorischen postsynaptischen Potentials (EPSP) eine synaptische Verzögerungszeit von 0,2–0,4 msec liegt. Das EPSP erreicht dann innerhalb von 1,2 bis 1,5 msec sein Maximum und fällt mit einer Zeitkonstante von 3,5 msec wieder ab. Bei motorischen Nervenfasern findet sich gewöhnlich eine Entladungsfrequenz bis höchstens 120/sec, bei sensiblen Nervenfasern bis 300/sec. Zu den qualitativen Organisationsunterschieden biologischer und technisch-kybernetischer Systeme gehören unter regelungstheoretischen Gesichtspunkten vor allem die häufige Mehrfachauslegung biologischer Regelkreise, die über mehrere Gruppen von Meßfühlern, Stellgliedern und Steuerzentren verfügen, die allgemeine Bipolarität in dem Aufbau des Regelsystems, das von zwei Zentren aus antagonistisch gesteuert wird (z.B. als Beuger und Strecker, ergotrophe und tropotrophe Reaktion), und die verbreitete Schwingungsfähigkeit von Regelkreisen, die zur Oszillation und Rhythmisierung biologischer Prozesse ausgenutzt wird (Hassenstein 1968). Biologische Sollwerte weisen außerdem keine absolute Konstanz auf, sondern unterliegen einer zeitlichen Kontrolle im Sinne der Zeitprogrammregelung. Die Spontanaktivität der Nervenzellen, die in den EEG-Wellen dann diagnostisch ausgewertet wird, führt etwa zu 200–300 Entladungen pro Sekunde für das gesamte Gehirn. Im Laufe eines 70jährigen Lebens entstehen in allen Nervenzellen des menschlichen Gehirns etwa $2{,}5 \cdot 10^{21} - 5 \cdot 10^{21}$ Impulse (Grüsser, Klinke, Kossow 1968). Die genetische Spontaneität biologischer Systeme unterscheidet sich von der in kybernetischen Modellen reproduzierbaren Spontaneität vor allem dadurch, daß durch die Mutationen immer qualitative Strukturveränderungen des Systems hervorgerufen werden. Insgesamt besteht in dieser Gruppe der qualitativen Systemmerkmale die theoretische Tendenz, solche globalen Kriterien wie Ganzheit in einem Netz von system- und regelungstheoretischen Begriffen zu präzisieren.
Sowohl die mehr praktisch-technischen Vergleiche der Bionik als auch die Systemkriterien der Biokybernetik basieren aber in jedem Fall auf einer vorausgesetzten strukturellen Identität technischer und biologischer Systeme, innerhalb der dann sekundär wieder verschiedene speziellere Organisationsunterschiede zusammengefaßt oder gegenübergestellt werden. Die Anwendung kybernetischer Methoden und Begriffe in der biologischen Forschung ist ja nur unter der Annahme sinnvoll, daß eine Strukturisomorphie besteht, die dann auch die Übertragung systemtheoretischer Gesetze auf den biologischen Gegenstandsbereich rechtfertigt. Für zahlreiche Systemmerkmale dürfte einer derartigen Strukturidentität kaum ernsthaft widersprochen werden, die entscheidende Frage ist jedoch, ob sie für den Vergleich technischer und biologischer Systeme generell gilt oder ob hier nicht vielmehr eine Homomorphierelation besteht, die eine Aufstellung übergeordneter Abgrenzungskriterien notwendig macht, um die Bereiche mit eineindeutigen Strukturbeziehungen genau zu bestimmen. Technische und biologische Systeme ständen dann insgesamt in einer Analogiebeziehung, die eine eindeutige Abbildung gestattet, indem jeder Beziehung zwischen den Elementen des biologischen Systems eine bestimmte Beziehung zwischen den diesen Teilen zugeordneten Teilen des technischen Systems entspricht. Die Biokybernetik könnte dann als die Wissenschaft definiert werden, die die Menge der übertragbaren Strukturbeziehungen

systematisiert und sie von der Menge trennt, die das lebende System als ‚biologisch' kennzeichnet. Diese dritte Ebene der Gegenüberstellung beinhaltet damit nur Merkmale der grundsätzlichen strukturellen Nichtidentität. Von medizinischer und biotheoretischer Seite aus hat H. Schaefer bereits mehrere Unterscheidungskriterien aufgestellt, die hier mit berücksichtigt werden (Schaefer, 1965).

Ein erstes Analogiekriterium ist darin zu sehen, daß die Optimalität biologischer Regelsysteme immer durch spezifische Selektionsgesetze determiniert wird, so daß der Systemaspekt des Organismus dem Evolutionsaspekt untergeordnet ist. Unter dem Selektionsdruck der Umwelt und konkurrierender Arten haben sich physiologische Regelsysteme herausgebildet, deren Leistungsfähigkeit nur bis zu dem Stadium ausgenützt wird, daß die Systemerhaltung und die Überlebenschance sichert: Das Ende der Selektionswirkung ist auch das Ende der Systembildung. Das bedeutet aber nicht, daß die Organisationsleistung bereits vollständig ausgeschöpft ist, vielmehr kommt es unter veränderten Umweltbedingungen dann auch wieder zu einer erneuten Organisationssteigerung. Der Vergleich biologischer und technischer Kenngrößen bleibt häufig deshalb abstrakt, da außer acht gelassen wird, daß es sich bei Organismen um eine phylogenetische System-Umweltoptimierung handelt, die ohne Angabe der Umweltbedingungen, unter denen die Systemoptimierung erreicht wird, wertlos wird. Sehr interessant sind unter diesem Gesichtspunkt vor allem die verschiedenen Antiregulationssysteme, die als Schutzmechanismen eine biologische Systemoptimierung, etwa als unbegrenztes Systemwachstum oder den unkontrollierten Einstrom von Information, verhindern. Einmal existieren komplizierte Verschaltmechanismen, die eine bessere Auswertung etwa der akustischen Information sichern. Die Schaltzellen im Nucleus accessorius der Oliven z.B. reagieren nur auf das gleichzeitige Einlaufen von Erregungen beider Ohren, wobei die Laufzeit vom rechten und vom linken Ohr je nach der Schaltzelle in konstanter Weise unterschiedlich ist. Auf verschiedene Schalleinfallswinkel und damit verschiedene Zeitunterschiede des Schallempfanges zwischen dem rechten und linken Ohr sprechen verschiedene Schallzellen an, so daß ein Richtungshören möglich ist (Keidel, 1969). Die Wahrnehmung von Größenkonstanzen im visuellen System zeigt das andere Prinzip einer sinnvollen Minimierung des Informationsflusses, um sich vor einem zu großen Input zu schützen. Ein Gegenstand bestimmter Größe in einem unterschiedlichen Abstand vom Auge wird nicht unterschiedlich groß gesehen, sondern trotz Größenänderung des Netzhautbildes als der gleiche Gegenstand von ähnlichen größeren und kleineren Objekten unterschieden. Die unbewußte Informationsverarbeitung führt zu einer wahrnehmungsmäßigen Konstanz von Größe, Lage, Farbe, Helligkeit trotz Änderung zugehöriger Reizgrößen. Diese Informationsverzerrung ist ein zentralnervöser Korrekturmechanismus, der zu einer biologisch sinnvollen Abbildung der Außenwelt führt und das wahrnehmende Subjekt vor überflüssiger Information schützt. Bestimmte Antiregulationssysteme verhindern nicht nur eine sinnlose Optimierung, sondern sind auch Schutzmechanismen gegen eine Verselbständigung von Organisationstendenzen, die zugunsten einer Minimaxbeziehung zur Umwelt abgebaut werden.

Bei der Entwicklung kybernetisch-technischer Systeme wirkt dagegen nicht die mutagene Zufälligkeit und ihre Selektion, sondern die gesellschaftliche ‚Überselektion' durch Leistungssteigerung bis zum historisch möglichen Optimierungsmaximum. Die Entwicklungsgesetze technischer Systeme, die zu einer Veränderung der Sollwerte führen, sind gesellschaftlicher Natur. Die Zielsetzung erfolgt hier immer extern in direkter oder abgeleiteter Form durch den Menschen. Die Analogie biologischer und technischer Systeme entsteht dadurch, daß sie zwar gleichen Systemgesetzen unterliegen, die aber durch verschiedene Entwicklungsgesetze determiniert werden, wobei nicht ausgeschlossen werden kann, daß sich in der Phylogenese einige spezifische biologische Regelsysteme ausgebildet haben, ebenso wie kybernetische Modelle konstruierbar sind, für die es kein biologisches Äquivalent gibt. Häufig besteht die gesellschaftlich-historische Zielstellung der Systemkonstruktion gerade darin, den spezifisch biologischen Charakter aufzuheben, indem die ökologische Umweltgebundenheit durch eine soziale ersetzt wird. Die momentane Kenntnis über den Organisationsgrad biologischer Systeme wird dabei zum Ausgang genommen und das Regelsystem in seine einzelnen Komponenten zerlegt, für die dann wesentlich höhere Sollwerte angestrebt werden können. Diese funktionelle Isolierung bringt neben der technischen Höchstleistung aber auch den Verlust der organisatorischen Omnipotenz: Biologische Systeme verfügen über eine starke Leistungsbreite, während kybernetisch-technische Maschinen über höhere Leistungskriterien, aber ein geringeres Adaptionsniveau verfügen. Das häufig zitierte Unterscheidungskriterium der Ganzheit muß also dahingehend präzisiert werden, daß für den Organisationsgrad eines Systems nicht die Leistungskriterien für *ein* Parameter ausschlaggebend sind, sondern die Anzahl der insgesamt optimal beherrschten Kenngrößen. Der verschiedene Entwicklungscharakter biologischer und technischer Systeme bedingt auch historische Prioritäten: die Konstruktion adaptiver Maschinen setzt immer bereits die Existenz selbstorganisierender biologischer Systeme voraus.

Ein zweites Unterscheidungsmerkmal ist die ‚Geschlossenheit' biologischer und die ‚Offenheit' technischer Regelsysteme. In einem strengen Sinn sind nur Organismen Regelungssysteme, während technische Apparate einem steuernden Eingriff unterliegen, der bei komplizierten Systemen identisch mit seiner Herstellung ist. Adaptive Maschinen sind trotz aller Fähigkeit zur Selbstorganisation nur Steuerketten eines geplanten Handlungsablaufs, durch den der Sollwert systemextern eingegeben wird. Es existiert damit kein geschlossener Wirkungsweg. Wichtig ist dabei allerdings die Tendenz der Systementwicklung; biologisch kommt es zu einer sukzessiven Öffnung des Regelablaufs gegenüber der Umwelt, die sich besonders bei tierischen Verhaltensmechanismen nachweisen läßt. Das Paradigma eines geschlossenen Regelkreises ist hier der unbedingte Reflex, durch den ein Reiz über einen spezifischen Rezeptor, den afferenten Nerv das ZNS oder Rückenmark zu einer Reaktion führt, die über den afferenten Nerv in dem entsprechenden Effektor ausgelöst wird. Sowohl die Reaktionsweise wie auch häufig die Signalkonfiguration als angeborener auslösender Mechanismus sind dabei erfahrungsunabhängig auslösbar. Die Entstehung bedingter Reflexe ermöglicht praktisch bereits die Reaktion auf eine unbegrenzte Klasse von Reizen, insofern sie zeitlich an den

ursprünglichen Auslösemechanismus gebunden werden. Auch für kompliziertere Verhaltensweisen wie das tierische Lernen gilt die Erschließung der Umwelt durch eine allmähliche ‚Öffnung' starrer Verhaltensabläufe, indem obligatorische Lernprozesse durch fakultative Lernformen abgelöst werden. Ein charakteristisches Beispiel dieses Überganges ist die Prägung, die zwar durch eine angeborene Disposition ausgelöst wird, aber die inhaltliche Festlegung auf ein spezifisches Prägungsobjekt, im Normalfall das Muttertier, erst während einer zeitlich begrenzten ‚sensiblen Periode' erfolgt. Die begrenzte Öffnung des Verhaltensablaufes ermöglicht die Einstellung auf eine sich verändernde Umwelt, z.B. sich entwickelnde morphologische Muster der Elterntiere. Die während der sensiblen Periode erworbene sensorische Erfahrung wirkt dann wieder absolut, so daß Prägung zur Auslösung irreversibler Verhaltensweisen führt. Der Organismus insgesamt bleibt aber insofern immer ein geschlossenes Regelsystem, da ein genetisches Programm vorausgesetzt werden muß, das den Zeitpunkt in der individuellen Entwicklung und den Öffnungsgrad des jeweiligen Regelkreises determiniert. Außerdem existiert ein bestimmter Fond besonders physiologischer Regelkreise wie die Regelung des Blutdruckes, endokrine Regelsysteme, die Regelung der Temperatur usw., die immer geschlossen bleiben, da sie elementare Lebensfunktionen erfüllen, auf deren Basis es dann zur partiellen Öffnung in einigen Verhaltens- und Funktionskreisen kommt. Bereits in der Verhaltensphysiologie werden die Regelkreise durch eine Zerlegung in mehrere Regelstrecken funktionaler und einer Steuerung durch das ZNS zugänglich.

Der Trend in der Entwicklung technischer Systeme ist genau umgekehrt: Durch die Ausschaltung des Menschen wird die Geschlossenheit verstärkt und der Steuercharakter zunehmend abgebaut. Die vollständige Überführung in ein sich selbstorganisierendes Regelsystem ist dabei ebenso unmöglich wie die Aufschließung aller biologischer Regelkreise. Der Vergleich biologischer und technischer Regelsysteme setzt damit immer die Abstraktion von ihrem allgemeinen Regelungs- bzw. Steuercharakter voraus.

Ein drittes Analogiekriterium ist die materielle Verschiedenheit adaptiver Maschinen und lernender biologischer Systeme. Substantiell sind biologische Systeme durch zwei Stoffgruppen charakterisiert, hochpolymere Polynucleotide und Proteine, deren biochemische Eigenschaften die Grundlage komplizierter Lernprozesse bilden. Die wichtigste allgemeine Eigenschaft der Eiweiße ist die Koagulation, bei der durch eine stark endotherme Reaktion der hochgeordnete in einen ungeordneten Zustand übergeht und ein Verlust der enzymatischen Wirkung eintritt. Bemerkenswert sind besonders die strukturellen Eigenschaften: Säureamide verfügen über eine ausgeprägte Fähigkeit zur Kettenbildung, bei komplizierten Proteiden wie Myoglobin treten Primär-, Sekundär-, Tertiär- und Quartärstrukturen auf. Der biochemische Aufbau der DNA ist deshalb wichtig, da ihre Fähigkeit der identischen Reduplikation die Grundlage für die Speicherung und Weitergabe der genetischen Information ist. Der Einzelstrang einer Helix dient als Matrize eines semikonservativen Reduplikationsmechanismus, der zu einer Doppelhelix mit 10 Basenpaaren pro Umdrehung führt. Das genetische Alphabet besteht aus 4 Buchstaben (Adenin, Guanin, Cytosin, Thymin), deren Sequenz die Erbinformation enthält.

In kybernetischen Modellen bedient man sich zur Imitation physiologischer und psychologischer Prozesse vor allem elektrischer und hydraulischer Schaltelemente, bei einer Übernahme chemischer Bausteine würden die Modelle in ihrer Haltung zu aufwendig. Bei der Konstruktion adaptiver Maschinen handelt es sich deshalb weniger um Struktur- als vielmehr um Funktionsmodelle. Ein bedingter Reflex ist hier schon dadurch elektrisch reproduzierbar, indem zwischen zwei Punkten einer Leitung, die durch einen Widerstand getrennt sind, eine Senkung des Widerstandes als Assoziation mit der Häufigkeit des Eintreffens einer ‚Reizung' korreliert. Eine Annäherung der materiellen Struktur zwischen Modell und Original ist aus verschiedenen Gründen gar nicht erwünscht, sie setzt damit aber auch Grenzen in der funktionellen Identität.
Generell sind technisch-kybernetische Systeme dadurch bestimmt, daß sie einer doppelten Zielbestimmung unterliegen, einmal teleonomischen Systemgesetzen, die allen real existierenden Systemen, auch biologischen, eigen sind, zum anderen aber der bewußten (teleologischen) Zielsetzung des Menschen, durch die das maschinelle System seine eigentliche Zweckbestimmung erhält. Für das biologische Regelsystem entfällt die teleologische Zielbestimmung, da es zu seiner Existenz keines wie auch immer gearteten Konstrukteurs bedarf. Das Konstruktionsproblem der Technik besteht vor allem darin, die teleonome und teleologische Zielsetzung aufeinander abzustimmen.

Schrifttumsverzeichnis

Adey, W.R.: Neurophysiological correlates of information transaction and storage in brain tissue. In: Progress in physiological Psychology. I.I. (1966)
Drischel, H.: Einführung in die Biokybernetik. (1972a), Berlin
Drischel, H.: Beispiele, Ergebnisse und Perspektiven der Anwendung des kybernetischen Konzeptes in der Medizin. In: Biokybernetik Bd. I, Leipzig (1968)
Drischel, H.: Das neuronale Gedächtnis. (1972b) Biol. Rundschau S. 137–154
Frank, H.: Kybernetik – Brücke zwischen den Wissenschaften (1970) Frankfurt/M.
Grüsser, O.I., R. Klinke, K.D. Kossow: Die Signalübertragung und Signalverarbeitung in Nervenzellen. Studium generale (1968), H. 11
Hassenstein, B.: Kybernetik und biologische Forschung. In: Handbuch der Biologie Bd. I (1966), Frankfurt/M., S. 629–719
Hassenstein, B.: Beispiele, Ergebnisse und Perspektiven der Anwendung des kybernetischen Konzeptes in der Biologie. In: Biokybernetik Bd. I (1968) Leipzig
Keidel, W.D.: Informationsphysiologische Aspekte des Hörens. Studium generale 22 (1969)
Kybernetik 1968. Berichtswerk über den Kongreß der Deutschen Gesellschaft für Kybernetik in München vom 23. bis 26. April. München/Wien (1968)
Pribram, K.H. and D.E. Broadbrent (Eds): Biology of memory. Academic Press New York/London (1970)
Sachsse, H.: Die Erkenntnis des Lebendigen. Braunschweig (1968)
Schaefer, H.: Biologische und technische Regelvorgänge. GrKG 6/2 (1965) S. 57–63
Steinbuch, K.: Automat und Mensch. Berlin, Heidelberg, New York (1965)
Tembrock, G.: Lernprozesse und Informationsverarbeitung in organismischen Systemen. Biol. Rundschau (1970) S. 325–334
Trincker, D.: Aufnahme, Speicherung und Verarbeitung von Information durch den Menschen. Kiel (1966)
Ungar, G.J.: Molecular mechanism in memory and learning. Plenum Press, New York (1970)
von Cube, F.: Kybernetik als Technik des Lebendigen. GrKG 9/3 (1968) S. 89–91
Weidel, W.: Kybernetik und das psychophysische Grundproblem. Kybernetik I (1961/63) S. 165–170
Young, G.Z.: The memory system of brain. University Press Oxford (1966)

Eingegangen am 20. März 1973

Anschrift des Verfassers: Ass.Prof. Dr. Volker Schurig, Psychologisches Institut der Freien Universität Berlin, 1 Berlin 41, Grunewaldstr. 35

Lehrweggenerierung mit Methoden der Dynamischen Optimierung

von Dirk SIMONS, Paderborn
aus dem FEoLL-Institut für Kybernetische Pädagogik (Direktor: Prof. Dr. Helmar Frank, Paderborn)

Es existiert bis heute keine vernünftige einheitliche Theorie der Lehrweggenerierung, die formaldidaktisch auszunutzen wäre. Bei Alzudi und Cogendi etwa wird die Steuerung des Lehrwegs im wesentlichen durch die Größe

$$\left(\frac{H}{H_{MAX}}\right)^{\frac{1}{E}}$$

bestimmt, wobei H die Zahl der bereits angebotenen und H_{MAX} die Gesamtzahl der Nichttrivialwörter ist. E ist hierbei eine wählbare Größe, die die Steilheit des Begriffsfortschritts steuert. (Blischke, Hilbig, Rüßmann, 1968). Es ist zu betonen, daß obige Größe nicht aus einer umgreifenden Theorie oder Zielsetzung folgt, sondern einen ad hoc-Ansatz darstellt, der auch mit „guter" Begründung durch irgendeinen anderen ersetzt werden könnte.

Eine „vernünftige" Lehrwegerzeugung muß aus einer Theorie oder allgemeinen Zielsetzung ableitbar sein, insbesondere muß sie die „Struktur" des Lehrstoffs berücksichtigen, insbesondere also auch auf Transfermöglichkeiten beim Lernen eingehen und diese ausnutzen.

Es sollen k Lehrstoffelemente gelernt werden. Der Zustand des Lernenden ist bezüglich dieser Elemente durch ein Wort der Länge k über dem Alphabet $\{0,1\}$ gegeben. Eine Null an i-ter Stelle des Wortes bedeutet, daß das Lehrstoffelement i nicht gelernt ist, eine Eins das Gegenteil.

Gegenseitige Transferwirkungen von Lehrstoffelementen während des Lernvorgangs können formal dadurch beschrieben werden, daß man die Lernwahrscheinlichkeit für ein bestimmtes Lehrstoffelement während eines Zeittakts vom Zustand abhängig macht, in dem der Lernende sich bei Angebot des betreffenden Lehrstoffelementes befindet. Sachlogische Ordnungen innerhalb des Lehrstoffs selbst können ebenfalls so berücksichtigt werden. (Dem Fall, daß ein Element durch Angebot eines anderen schon unmittelbar gelernt wird, also nicht nur die Lernwahrscheinlichkeit bei seiner eigenen Darbietung verändert wird, ordnen wir im folgenden die Wahrscheinlichkeit Null zu).

Der Lernende kann 2^k Zustände, die durch die ihnen zugeordneten Wörter der Länge k über $\{0,1\}$ bezeichnet werden, einnehmen. Es ist bequem, dieses Wort als Dualzahl zu deuten.

Der Lernende befinde sich im Zustand i, $0 \leqslant i \leqslant 2^k - 1$. t_i sei dann der kleinste, durch irgendeine Lehrschrittfolge erreichbare Erwartungswert der Lernzeit bis zum Erreichen des Zustands $2^k - 1$. Wird als nächstes das s-te Lehrstoffelement angeboten, so besteht eine Wahrscheinlichkeit $p_{ij}^{(s)}$, daß dadurch der Zustand j erreicht wird. Wenn kein Vergessen angenommen wird, so haben die Matrizen

$$(p_{ij}^{(s)}) \quad i,j = 1, \ldots, 2^k - 1, \quad s = 1, \ldots, k$$

in jeder Zeile höchstens 2 von Null verschiedene Elemente. In den Zeilen, die Zuständen entsprechen, in denen Lehrstoffelement s gelernt ist, ist nur das Hauptdiagonalelement positiv, nämlich 1, sonst ist das Element in der i-ten und das in der von s abhängigen Spalte j positiv. Die genannten Matrizen haben ferner obere Halbdiagonalform. Der Erwartungswert der Verweilzeit (in Zeittakten) im Zustand i ist

$$\frac{1}{p_{ij}^{(s)}} = \frac{1}{1 - p_{ii}^{(s)}}$$

Für den oben definierten Erwartungswert hat man dann die rekursive Beziehung

$$t_i = \min_s \frac{1}{1 - p_{ii}^{(s)}} \left[1 + \sum_{j=i+1}^{2^k - 1} p_{ij}^{(s)} t_j \right]$$

aus der sich mit $t_{2^k - 1} = 0$ die zeitoptimalen Lehrstrategien im obigen Sinne berechnen lassen. Die Vorgehensweise ist charakteristisch für die Methode der Dynamischen Programmierung (R.A. Howard, 1971). Der Lehrweg wird nicht „lokal" generiert, sondern „global"; es ist nämlich keineswegs zeitoptimal, dem Adressaten in einem bestimmten Zustand das Lehrelement anzubieten, das er am schnellsten lernt. Er kann dann nämlich in einen Zustand übergehen, den zu verlassen äußerst lange dauern kann.

Beispiel:

$k = 4$; $p_{3,7}^{(3)} = 0{,}4$; $p_{3,11}^{(4)} = 0{,}4$; $p_{13,15}^{(2)} = 0{,}5$; $p_{14,15}^{(1)} = 0{,}8$

Für alle anderen nicht trivialen Übergangswahrscheinlichkeiten möge 0,13 gelten. Die folgende Tabelle gibt für jeden Zustand die beste unmittelbare Lehrwegfortsetzung zwecks Minimalisierung des Erwartungswertes der restlichen Lernzeit (also des Restlehrwegs) an.

Zustand, gekennzeichnet durch		Anzubietendes Lehrstoffelement	damit beziehentlich erreichbarer neuer Zustand Nr.	Erwartungswert der Lernzeit t_i
Wort	Nr.			
0000	0	4 oder 3 oder 2	8; 4; 2	24,3
0001	1	4 oder 3	9; 5	17,4
0010	2	4 oder 3	10; 6	16,6
0011	3	4 oder 3	11; 7	10,2
0100	4	4 oder 2	12; 6	16,6
0101	5	4	13	9,7
0110	6	4	14	8,9
0111	7	4	15	7,7
1000	8	3 oder 2	12; 10	16,6
1001	9	3	13	9,7
1010	10	3	14	8,9
1011	11	3	15	7,7
1100	12	2	14	8,9
1101	13	2	15	2,0
1110	14	1	15	1,3

Schrifttumsverzeichnis

Blischke, H., Hilbig, W., Rüßmann, R.: Die halbalgorithmische Formaldidaktik Cogendi, GrKG 9/4, S. 106, 1968

Howard, R.A.: Dynamic Probabilistic Systems, Wiley 71

Eingegangen am 25. Januar 1974

Anschrift des Verfassers:

Studienreferendar Dirk Simons, FEoLL-Institut für Kybernetische Pädagogik
4790 Paderborn, Rathenaustr. 69–71

Veranstaltungen

Am 16. April 1974 kommt der kybernetisch-pädagogische Arbeitskreis (in Verbindung mit der Arbeitsgruppe Kybernetik der GPI) zu seinem dritten Vierteljahrestreffen zusammen. Die Klausurtagung findet in Mainz, Rheinallee 105, statt und wird von Dr. H. Closhen, Vorstandsmitglied der Kybernetischen Vereinigung (c/o Nixdorf, 62 Wiesbaden, Schuppstr. 63) vorbereitet. Rahmenthema: Kybernetische Bildungsökonomie – Wirtschaftlichkeitsvergleiche verschiedener bildungstechnologischer Verfahren.

Unter dem Motto *Medien als Partner* veranstaltet die Gesellschaft für Programmierte Instruktion vom 17. bis 20. April 1974 in Wiesbaden ihr 12. Symposion. Die Arbeit der GPI lag ursprünglich vorwiegend bei der wissenschaftlichen Erforschung und praktischen Anwendung der Programmierten Instruktion. Im Laufe der Jahre wurde jedoch dieser Aufgabenkreis auf alle Fragen des „Neuen Lernens" erweitert.
Zum 12. Symposion werden 700 Teilnehmer erwartet. In zwölf Plenarveranstaltungen und etwa 80 Vorträgen in den zwölf Arbeitsgruppen werden zahlreiche Fragen der Unterrichtstechnologie angesprochen. Fünf Arbeitsgruppen legten Rahmenthemen fest:

AG Audiovisuelle Medien:	AVM und Kommunikation
AG Computerunterstützter Unterricht:	1. Lernzielanalyse und Lehrzielstrategie im CUU 2. Analyse von Kosten und Nutzen der CUU
AG Empirisch pragmatische Pädagogik:	1. Aufbereitung von Lernzielen (didaktische und methodische Aspekte) 2. Überprüfung der erreichten Lernziele – lernzielorientierte Testverfahren
AG Lehrprogramme für Schulen:	1. Integration der Buchprogramme in den Schulalltag 2. Lehrprogramme im Medienverbund
AG Sprachlehrgeräte:	1. Hat das Cassettenlabor eine Zukunft? 2. Möglichkeiten des Einzelgerätes im Fremdsprachunterricht

Das vollständige Programm kann (zusammen mit Anmeldeformularen) bei der Geschäftsstelle der Gesellschaft für Programmierte Instruktion, 479 Paderborn, Rathenaustr. 69, kostenlos angefordert werden.

Das vierte Quartalstreffen des kybernetisch-pädagogischen Arbeitskreises (in Verbindung mit der Arbeitsgruppe Kybernetik der GPI) findet vom 12. – 14. Juli 1974 in der Akademie für Lehrerfortbildung in 888 Dillingen/Donau statt. Tagungsvorbereitung: Dr.Friedemann Lösch, Akademie Dillingen.

Die Fachtagung über Rechner-Gestützten Unterricht RGU '74 vom 12. – 24. August 1974 (Universität Hamburg) soll Stand und Entwicklungslinien auf dem Gebiet des Rechnereinsatzes im Unterricht darstellen.
Veranstalter: Gesellschaft für Informatik (GI) und Arbeitskreis Computer-Unterstützter Unterricht (ACU).
Tagungsanschrift: Konferenz RGU 74, c/o Prof. Dr. Klaus Brunnstein, Institut für Informatik, Universität Hamburg, D–2 Hamburg 13, Schlüterstr. 70.
Tagungsgebühr: DM 30,– für Mitglieder von GI und ACU, DM 50,– sonst.
Konferenzsprachen: deutsch und englisch.

Personalien

Prof. Dr. Felix von Cube, Pädagogische Hochschule Bonn, hat zum Sommersemester 1974 den an ihn ergangenen Ruf auf den Lehrstuhl für Allgemeine Erziehungswissenschaft unter besonderer Berücksichtigung der Schulpädagogik an der Universität Heidelberg angenommen.

Richtlinien für die Manuskriptabfassung

Es wird zur Beschleunigung der Publikation gebeten, Beiträge an die Schriftleitung in doppelter Ausfertigung einzureichen. Etwaige Tuschzeichnungen oder Photos brauchen nur einfach eingereicht zu werden.

Artikel von mehr als 12 Druckseiten Umfang können in der Regel nicht angenommen werden. Unverlangte Manuskripte können nur zurückgesandt werden, wenn Rückporto beiliegt. Es wird gebeten bei nicht in deutscher Sprache verfaßten Manuskripten eine deutsche Zusammenfassung anzufügen.

Die verwendete Literatur ist, nach Autorennamen alphabetisch (verschiedene Werke desselben Autors chronologisch) geordnet, in einem Schrifttumsverzeichnis am Schluß des Beitrags zusammenzustellen. Die Vornamen der Autoren sind mindestens abgekürzt zu nennen. Bei selbständigen Veröffentlichungen sind Titel, Erscheinungsort und -jahr, womöglich auch Verlag, anzugeben. Zeitschriftenbeiträge werden vermerkt durch Name der Zeitschrift, Band, Seite (z. B. S. 317–324) und Jahr, in dieser Reihenfolge. (Titel der Arbeit kann angeführt werden.) Im selben Jahr erschienene Arbeiten desselben Autors werden durch den Zusatz „a", „b" etc. ausgezeichnet. Im Text soll grundsätzlich durch Nennung des Autorennamens und des Erscheinungsjahrs des zitierten Werkes (evtl. mit dem Zusatz „a" etc.), in der Regel aber nicht durch Anführung des ganzen Buchtitels zitiert werden. Wo es sinnvoll ist, sollte bei selbständigen Veröffentlichungen und längeren Zeitschriftenartikeln auch Seitenzahl oder Paragraph genannt werden. Anmerkungen sind zu vermeiden.